

VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Porovnání tlakové odezvy přímo řízeného a nepřímo řízeného tlakového ventilu  
Comparison of Pressure Response of Direct Operated and Pilot Operated Pressure  
Relief Valve

Student:

Ondřej Baran

Vedoucí práce:

Ing. Adam Bureček, Ph.D.

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

## Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Baran**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení  
Téma: **Porovnání tlakové odezvy přímo řízeného a nepřímo řízeného tlakového ventilu**  
**Comparison of Pressure Response of Direct Operated and Pilot Operated Pressure Relief Valve**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Literární rešerše k problematice přímo a nepřímo řízených tlakových ventilů.
2. Návrh a realizace experimentálního zařízení pro měření tlakové odezvy při uzavírání přímo a nepřímo řízeného tlakového ventilu.
3. Měření tlakové odezvy přímo a nepřímo řízeného tlakového ventilu při dynamické změně tlaku.
4. Vyhodnocení a porovnání tlakové odezvy přímo a nepřímo řízeného tlakového ventilu.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 2. Řídící prvky hydrostatických systémů. Příslušenství hydraulických obvodů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, 2. vyd., 140 s. ISBN 978-80-248-1827-6.
2. PIVOŇKA, J. a kol. *Tekutinové mechanismy*. SNTL, Praha, 1987, 04-255-87, 623 s.
3. BAROŠKA, J. *Hydrostatické mechanismy*. Žilina: Hydropneutech s.r.o., 2012, 388 s. ISBN 978-80-970 897-2-6.
4. EXNER, H., FREITAG, R., et al. *Basic Principles and Components of Fluid Technology. The Hydraulics Trainer, Volume 1*, Mannesmann Rexroth GmbH, RE 00290/10.91, 2nd issue, 344 str., 1991. ISBN 3-8023-0266-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Adam Bureček, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



---

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry



---

prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18.5.2020



.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu,

byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo,

beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3),

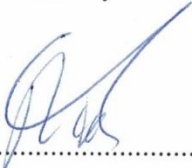
souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,

bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona,

bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),

beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18.5.2020



.....

Podpis autora práce

Plné jméno autora práce:

Ondřej Baran

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Staříč 11, 739 43 Staříč

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

BARAN, O. *Porovnání tlakové odezvy přímo řízeného a nepřímo řízeného tlakového ventilu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2020, 45 s. Vedoucí práce: Bureček, A.

Tato práce se zabývá přímo a nepřímo řízenými tlakovými ventily a porovnáním jejich odezvy. Práce obsahuje řešerši tlakových ventilů, praktickou část, která obsahuje návrh měření, schéma hydraulického obvodu, popis měření a specifikaci ventilů, samotné měření a porovnání naměřených rozdílů mezi měřenými ventily.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Odezva tlakových ventilů, přímo řízené ventily, nepřímo řízené ventily.

## **ANNOTATION OF BACHLEOR THESIS**

BARAN, O. *Comparison of Pressure Response of Direct Operated and Pilot Operated Pressure Relief Valve: Bachleor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Devices, 2020, 45 p. Thesis head: Bureček, A.

This bachleor thesis deals with direct operated pressure relief valves and pilot operated pressure relief valves and their response comparison. The thesis starting with basic information of pressure valves, their types, functions. Practical part deals with description of measurements, scheme of hydraulic circuit, measurement process and valve specifications. Next part is about the actual measurement and comparison of measured differences between measured valves.

## **KEY WORDS**

Pressure valves response, direct operated pressure relief valve, pilot operated pressure relief valve.

## **Poděkování**

Děkuji panu Ing. Adamu Burečkovi, Ph.D.za trpělivost a připomínky k této bakalářské práci.

## Použité veličiny

Veličina	Značka	Jednotka
teplota	$\tau$	[°C]
průtok	$Q$	[dm <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> ]
tlak	$p$	[MPa]
délka	$l$	[m]
čas	$t$	[s]
napětí	$U$	[V]



Úvod .....	11
1. Přímá a nepřímá řízení tlakové ventily .....	12
1.1 Tlakové ventily jednostupňové (přímá řízení) .....	12
1.2 Tlakové ventily dvojitupňové (nepřímá řízení) .....	15
1.3 Porovnání výhod přímá a nepřímá řízených ventilů .....	17
2. Návrh a realizace experimentálního zařízení pro měření tlakové odezvy při uzavírání přímá a nepřímá řízeného tlakového ventilu .....	17
2.1 Prvky obvodu .....	17
2.2 Schéma hydraulického obvodu .....	18
2.3 Popis měření dynamických vlastností .....	18
2.4 Specifikace přímá řízeného ventilu MO-4/10 .....	20
2.5 Specifikace nepřímá řízeného ventilu RV10-26 .....	22
3. Měření tlakové odezvy přímá a nepřímá řízeného tlakového ventilu při dynamické změně tlaku .....	24
3.1 Měření .....	24
3.2 Zpracování statických charakteristik .....	24
3.3 Zpracování dynamických charakteristik .....	27
3.4 Vyhodnocení a porovnání tlakové odezvy přímá řízeného ventilu MO-4/1029	
3.5 Vyhodnocení a porovnání tlakové odezvy nepřímá řízeného ventilu RV10-26	
33	
3.6 Vyhodnocení a porovnání tlakové odezvy přímá i nepřímá řízených ventilů MO-4/10 a RV10-26 .....	36
4. Závěr .....	40
Seznam použité literatury a zdrojů .....	41

# Úvod

Tématem této bakalářské práce je porovnání odezvy přímo řízeného a nepřímo řízeného tlakového ventilu. Tyto hydraulické ventily se využívají u hydraulických obvodů z hlediska bezpečnosti. Chrání obvod proti tlakovým špičkám a přetížení.

Tlakové ventily se dělí do několika skupin. Pro tuto práci jsou důležité zejména dvě (přepouštěcí a pojistné). Pojistný funguje jako pojistka proti tlakovému přetížení systému. Když hodnota tlaku přesáhne maximum, pojistný ventil přepouští kapalinu do nádrže. Přepouštěcí ventil udržuje v hydraulickém obvodu konstantní tlak pomocí přepouštění kapaliny z obvodu do nádrže.

Dále se tlakové ventily dělí na přímo (jednostupňové) a nepřímo řízené (dvoustupňové). Jejich rozdílná konstrukce ovlivňuje kritéria a vlastnosti (rozmězí průtoků v kterých fungují, reakční časy, odezva, ustálení funkce). Vše je podrobněji zmíněno a rozebráno v průběhu práce.

Pojednání jednotlivých kapitol:

První kapitola se zabývá hydraulickými tlakovými ventily a jejich rozdělením, popisem funkcí a složením.

Druhá kapitola obsahuje návrh realizace hydraulického obvodu, popis součástí hydraulického obvodu včetně vybraných tlakových ventilů a konstrukci obvodu.

Třetí kapitola obsahuje měření a popis zpracování dat a grafů. Obsahuje zpracování statických i dynamických vlastností obou ventilů, porovnání a vyhodnocení ventilů.

Čtvrtá a zároveň poslední kapitola obsahuje závěr, ve kterém jsou shrnuty poznatky a důležité body bakalářské práce.

# 1. Přímá a nepřímá řízení tlakové ventily

Nezbytnou součástí každého tekutinového mechanismu jsou prvky pro řízení tlaku. Jejich působením můžeme udržovat v obvodech konstantní tlak, redukovat tlak, připojovat nebo odpojovat sériově zapojené prvky při dosažení předem nastaveného tlaku a rovněž spojitě řídit tlak elektrickými signály. Funkce těchto ventilů je založena na změně průtočného průřezu. Konstruktivním uspořádáním představují ventily pro řízení tlaku uzavřené regulační soustavy, které řídí tlak změnou hydraulického odporu konstrukčního prvku, což je kulička, kuželka nebo válcové šoupátko.

Prvky pro řízení tlaku rozlišujeme na ventily pojistné, přepouštěcí, redukční, připojovací, odpojovací, proporcionální.<sup>1,2</sup>

## 1.1 Tlakové ventily jednostupňové (přímá řízení)

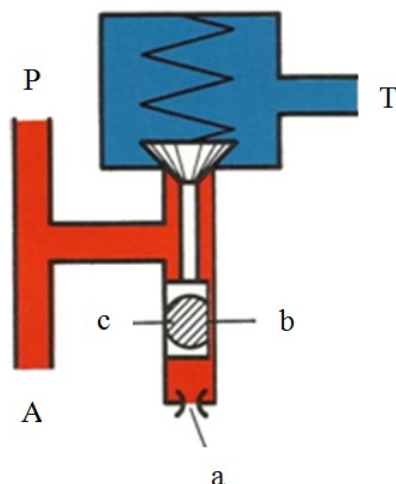
Díky své jednoduchosti a ceně se pro menší průtoky v hydraulických obvodech používají tlakové ventily jednostupňové.

Jednostupňové ventily s kuželkou jsou pro tlaky do 32 MPa, s kuličkou pro tlaky až do 63 MPa. Tlakový ventil se skládá z tělesa, pružiny, kuželky nebo kuličky a ovládací části.

Reakce pojistného ventilu je zpravidla velice rychlá, v řádech milisekund, aby zachytila tlakové špičky vznikající v obvodu, například při rychlém uzavření rozvaděče. Rychlá reakce je snadno dosažitelná vzhledem k jejich použití v malých světlostech a nízké hmotnosti konstrukčního prvku.

Ten spolu s pružinou tvoří kmitavý, málo tlumený systém, který je většinou nutné zatlumit přídavným tlumením. Při pohybu kuličky, kuželky nebo válcovitého šoupátka se kapalina přelévá z prostoru pod pístem do prostoru nad pístem (a opačně) skrze škrťací drážky po obvodu pístu, čímž se pohyb pístu a kuželky tlumí.

Dynamická stabilita kuželkového ventilu je zajištěna tlumícím pístkem (c) s předřazenou tryskou (a) a ploškou na obvodu (b), viz obrázek 1.1.<sup>2,5</sup>

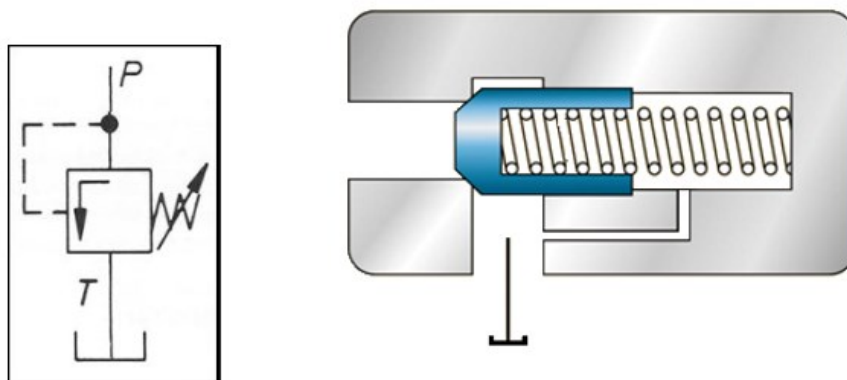


Obrázek 1.1 Tlumení kmitáním pomocí pístenku<sup>5</sup>

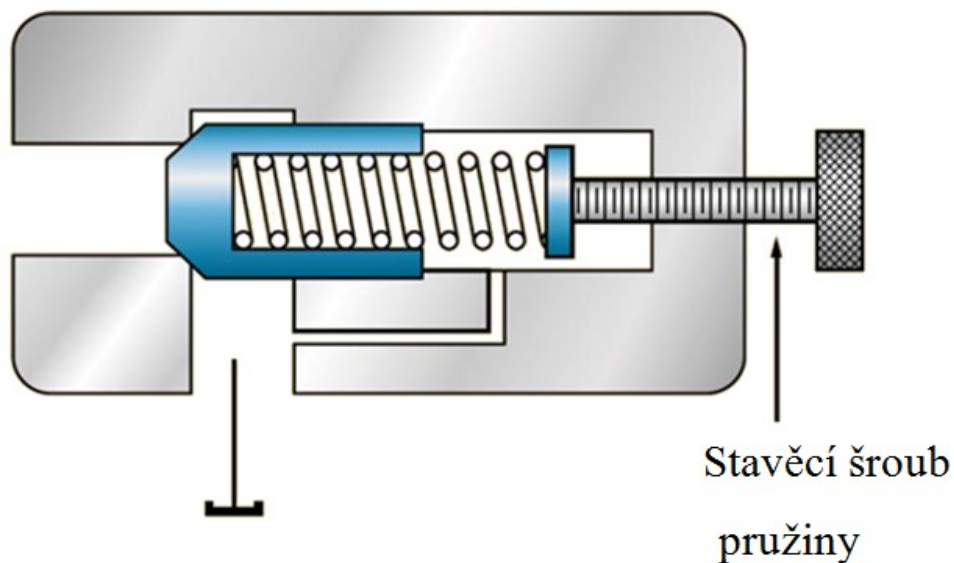
Přímo řízený pojistný ventil bývá proveden jako sedlový ventil (kvůli dokonalé těsnosti) s kuličkou nebo kuželkou. Rozšířená část kuželky umožňuje eliminovat vliv změny síly pružiny při rostoucím průtoku v důsledku účinku proudu tekutiny.

Pojistný ventil se posuzuje podle statické  $p - Q$  charakteristiky, dynamických vlastností a případně dle výkonového omezení. Ideální statická charakteristika  $p = \text{konst.}$  Strmost charakteristiky je dána zejména tuhostí pružiny a geometrií ventilu. Úpravu strmosti statické charakteristiky lze dosáhnout využitím vlivu hydrodynamické síly působící na kuželku. Klobouček kuželek může být tvarován tak, že obrací proud kapaliny do opačného směru, čímž zvyšuje účinek hydrodynamické síly.<sup>1</sup>

Na obrázku 1.2 je zobrazena značka přímo řízeného pojistného ventilu a přímo řízený pojistný ventil bez regulace tlaku. Obrázek 1.3 obsahuje přímo řízený pojistný ventil s regulací tlaku.



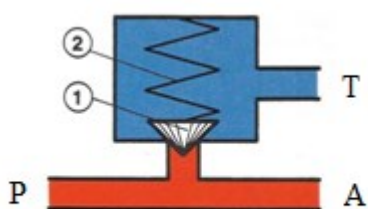
Obrázek 1.2 Značka přímo řízeného pojistného ventilu (vlevo) a přímo řízený pojistný ventil bez regulace tlaku (vpravo)<sup>6,8</sup>



Obrázek 1.3 Přímě řízený pojistný ventil s regulací tlaku<sup>8</sup>

### Princip funkce jednostupňových ventilů

Vstupní tlaková síla působí na plochu kuželky (1) a ta je zároveň tlačena silou pružiny (2) do sedla. V moment, kdy tlak působící na kuželku překoná mezní tlak pružiny nutný k otevření ventilu, začne se ventil otevírat a tlak v soustavě regulovat. Kapalina odtéká do odpadu (T) a tím tlak v hydraulickém systému dále neroste. Při poklesu tlaku se ventil opět uzavírá a otevře se až při opětovném překročení mezního tlaku. Na obrázku 1.4 je uvedeno schéma jednostupňového pojistného ventilu.<sup>5</sup>



Obrázek 1.4 Princip funkce jednostupňových ventilů<sup>5</sup>

Maximální propustnosti tlakových ventilů jsou rovněž závislé na nastaveném tlaku. Pro praktické použití se využívá průtokový rozsah, při kterém se tlak příliš nemění.<sup>2</sup>

## 1.2 Tlakové ventily dvojstupňové (nepřímo řízené)

Využívají se zejména tam, kde již jednostupňový ventil nestačí funkčně i konstrukčně. Tento typ ventilů je určen zpravidla pro větší světlost než 10 mm. S rostoucími nároky na průtok kapaliny rostou i nároky na prostor a na instalaci regulační pružiny. Nepřímo řízené ventily umožňují řadu funkcí, které jsou s jednostupňovými ventily nerealizovatelné nebo hůře proveditelné např. stupňovité řízení tlaku, možnost dálkového ovládání, odlehčování hydrogenerátoru v hydraulickém obvodu.

Dynamicke vlastnosti dvojstupňového ventilu určuje především řídicí ventil. Kuželka druhého stupně reaguje relativně rychle bez změny průtoku prvního stupně. Kmitání ventilu se však může dostat do rezonance s pulzacemi od hydrogenerátoru a vznikají nežádoucí rázy a hlukové efekty. Kompenzace nežádoucího kmitání je možná výměnou clonky a tím úpravou tlumení kuželky.

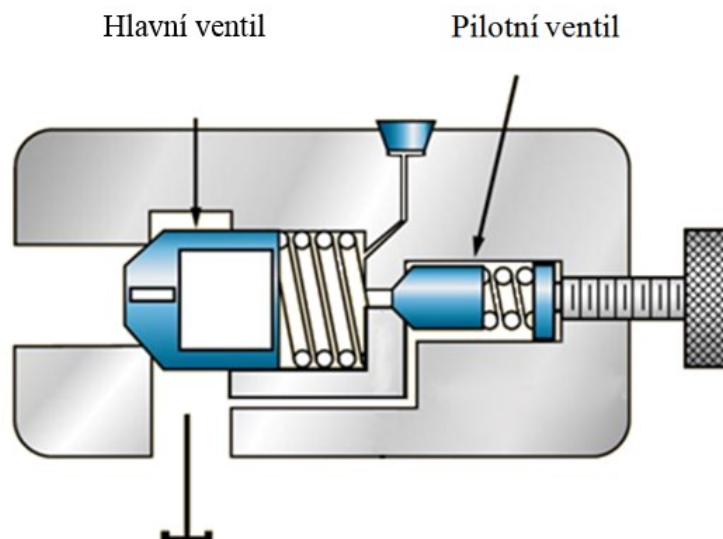
Tlakový ventil s kuželkou je nejčastěji používán ve funkci pojistné, kuželka s úpravou dosedací plochy eliminuje výrazně vliv dynamických sil průtoku, a proto se používá u ventilů plnicích funkci přepouštění a pro udržování konstantního tlakového spádu. Ke stejné funkci se používalo i válcovité šoupátko.

Clonka slouží k tlumení pohybu kuželky, tedy k úpravě dynamické charakteristiky ventilu.

Někdy je žádoucí vyřadit pojistný ventil z funkce, tzn. zajistit, aby byl volně průtočný. To je možné provést tak, že prostor před řídicí kuželkou propojíme přes rozváděč R se zpětným vedením do nádrže.<sup>2</sup>

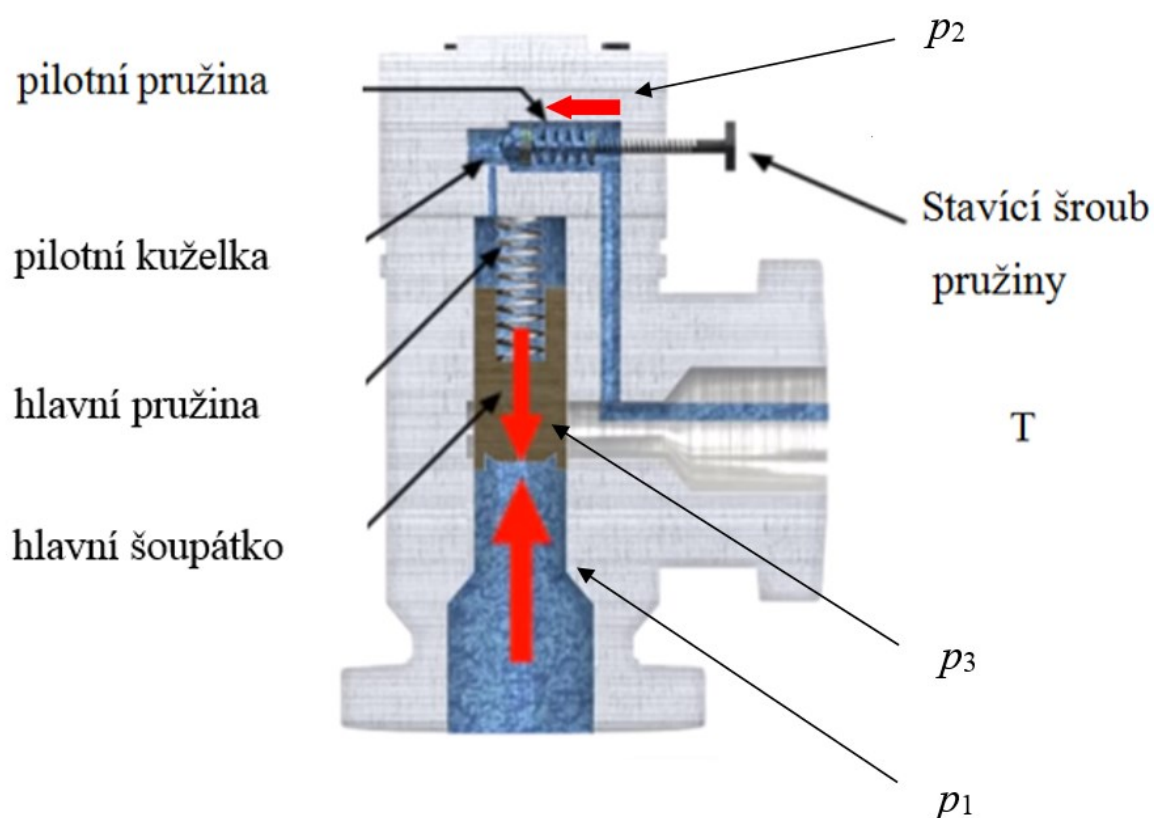
### **Princip nepřímo řízeného ventilu**

Nepřímo řízený ventil funguje na principu dvou ventilů – hlavní a pilotní. V kuželce hlavního ventilu je otvor, který zajišťuje dopravu kapaliny k pilotnímu (přímo řízenému ventilu). Na obrázku 1.5 a 1.6 je znázorněn nepřímo řízený ventil, kde  $p_1$  je vstupní tlak,  $p_2$  je tlak potřebný k otevření pilotního ventilu a  $p_3$  je tlak nutný pro otevření hlavního ventilu. Když je tlak v systému pod nastavenou hodnotou regulace, oba dva ventily jsou zavřené. V momentě, kdy tlak překročí mez ( $p_1 < p_2$ ), otevře se pilotní ventil (viz obrázek) a upouští kapalinu do nádrže (N). Pokud tlak stále roste a přesáhne hodnotu  $p_3$ , otevře se hlavní ventil a kapalina plně protéká do nádrže (N). Po snížení (poklesu)  $p_1 > p_3$  se uzavře hlavní ventil a  $p_1 > p_2$  uzavřou hlavní i pilotní ventil. Ventily začnou plnit svou funkci opět až po zvýšení tlaku v systému.



Obrázek 1.5 Nepřímo řízený tlakový ventil<sup>8</sup>

Na obr. 1.6 je ilustrační řez nepřímo řízeným pojistným ventilem s popsanými prvky soustavy.



Obrázek 1.6 Nepřímo řízený tlakový ventil s popisem a průtokem tekutiny<sup>10</sup>

### 1.3 Porovnání výhod přímo a nepřímo řízených ventilů

Přímo řízené:	Nepřímo řízené:
<ul style="list-style-type: none"><li>• Jsou levnější</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Jsou dělány pro větší průtoky a větší tlaky</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Rychlejší odezva při tlakovém spádu</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Větší rozsah použití</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Menší prosakování</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Více funkcí</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Nižší požadavky na čistotu kapaliny</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Menší velikost, při stejných parametrech</li></ul>

Tabulka 1.1 Porovnání výhod ventilů

## 2. Návrh a realizace experimentálního zařízení pro měření tlakové odezvy při uzavírání přímo a nepřímo řízeného tlakového ventilu

V rámci experimentu pro měření tlakové odezvy a chování přímo a nepřímo řízeného ventilu byl složen hydraulický obvod, který obsahuje tlakový ventil jednostupňový i dvoustupňový ventil.

### 2.1 Prvky obvodu

**N** - Nádrž

**HG** - Hydrogenerátor PPAR 2-63 10AP, TOS

**ZP** - Zubový průtokoměr GFM 70, Hydrotechnik

**KV** - Kulový ventil

**TV1** - Tlakový ventil MO-4/10 (přímo řízený), ABCO

**TV2** - Tlakový ventil RV10-26A-0-N-15 (nepřímo řízený), HydraForce

**TS1, TS2** - Snímač tlaku PR15, měřicí rozsah (0 ÷ 400) bar, Hydrotechnik

**TS** - Snímač teploty Pt 100, měřicí rozsah (-50 ÷ 200) °C, Hydrotechnik

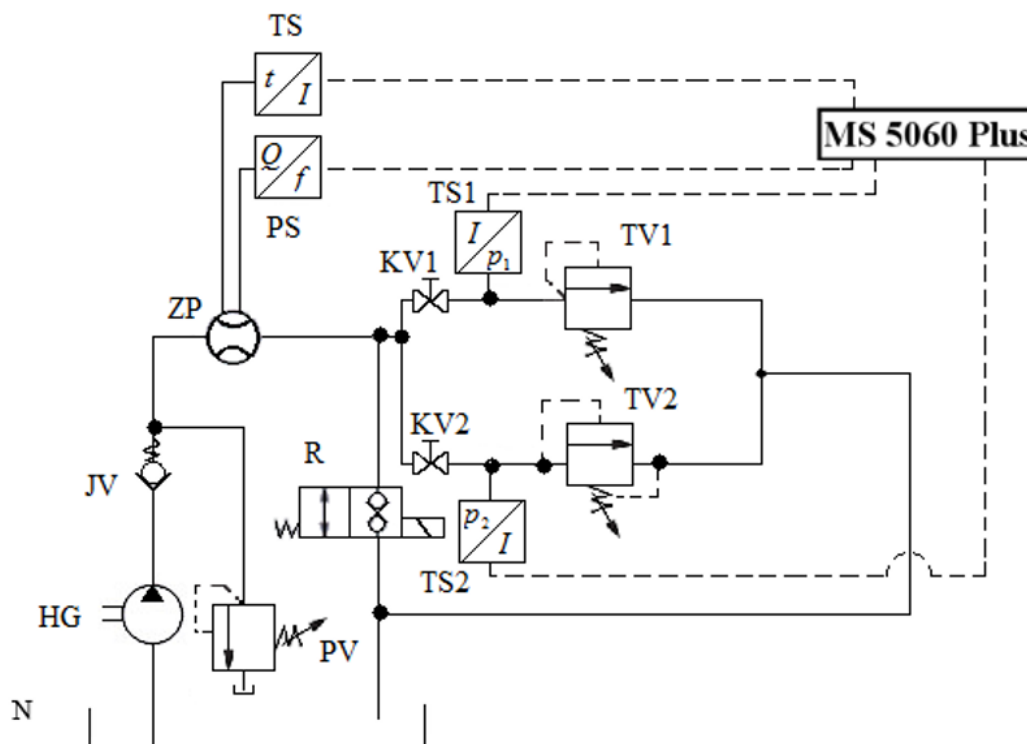
**MZ** - MS 5060 Plus– Univerzální měřicí přístroj, Hydrotechnik

**R** - SD1E-A2 - Rozváděč, ARGO-HYTOS



## 2.2 Schéma hydraulického obvodu

Na obrázku 2.1 je nakresleno schéma hydraulického obvodu s označenými prvky obvodu.

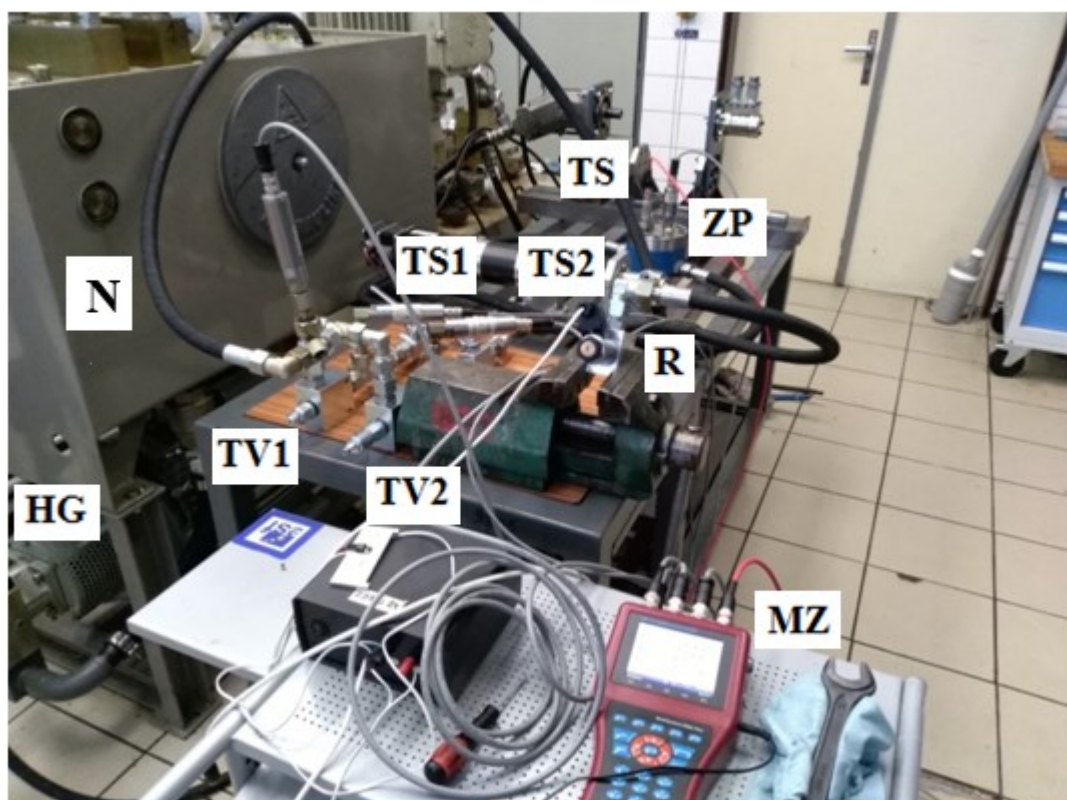


Obrázek 2.1 Schéma hydraulického obvodu

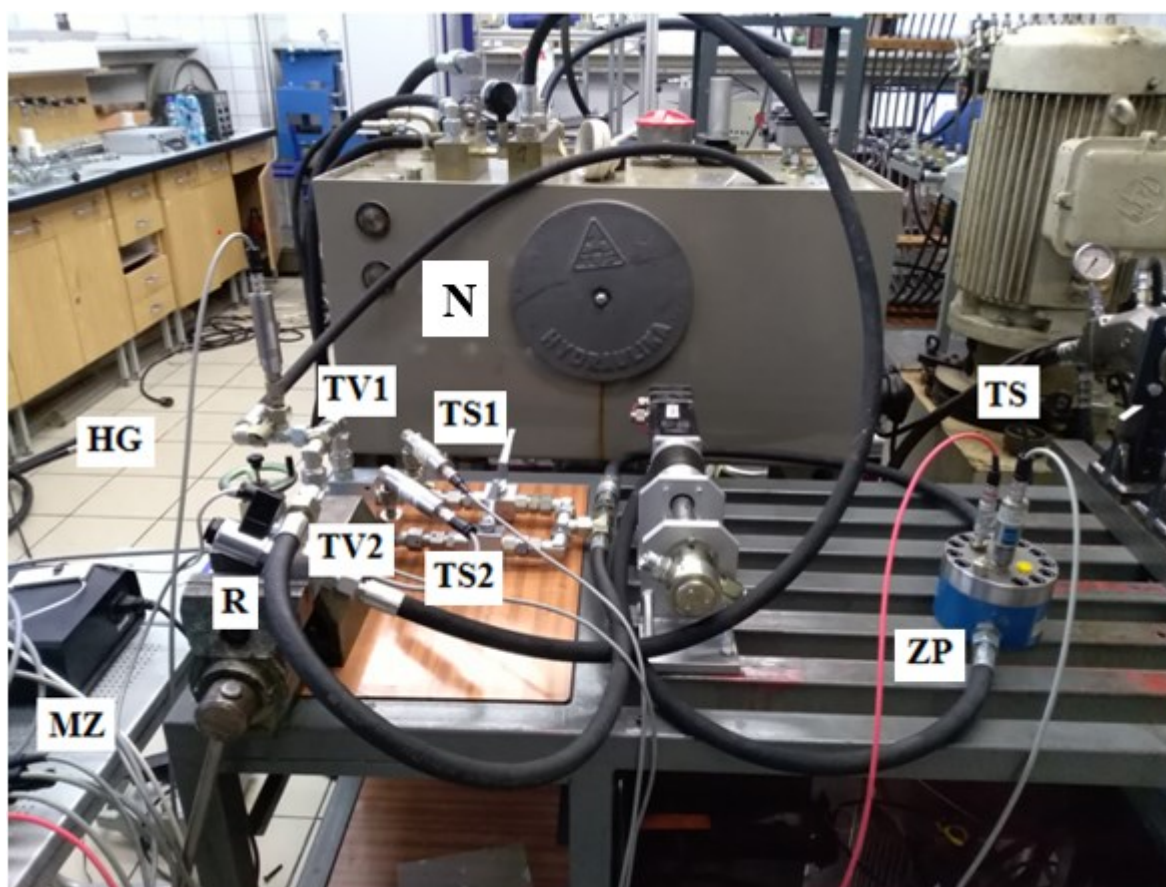
## 2.3 Popis měření dynamických vlastností

Na začátku měření byl uzavřen rozváděč R aby se dal nastavit tlak na tlakových ventilech TV1 a TV2. Na pojistném ventilu jsme nastavili tlak 15 MPa. Dále byl otevřen kulový ventil KV1, který připojil tlakový ventil TV1 do funkce. Následně byl spuštěn záznam měření a rozváděč R byl skokově uzavřen. V průběhu měření byl zaznamenán nárůst tlaku v čase pomocí tlakového senzoru TS1. Po ustálení tlaku bylo měření ukončeno a rozváděč R byl otevřen. Tlak na ventilu TV1 byl přenastaven na požadovanou hodnotu a měření jsme opakovali stejným způsobem. Toto měření se obdobně opakovalo pro tlakový ventil TV2 za stejných tlakových nastavení a při stejných teplotách. Během měření ventilů TV1 a TV2 jsme zaznamenávali veličiny  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $Q$  a  $\tau$ .

Na obrázcích 2.2, 2.3 jsou fotky sestaveného měřeného hydraulického obvodu doplněné obrázkem 2.4, na kterém je měřicí přístroj MS 5060 Plus.



Obrázek 2.2 Sestavený hydraulický obvod s popisem prvků



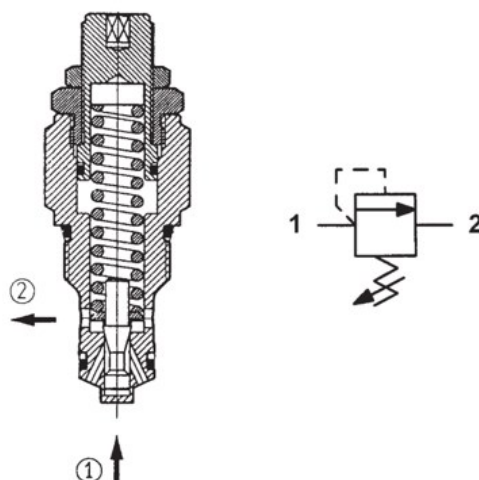
Obrázek 2.3 Sestavený hydraulický obvod s popisem prvků 2



Obrázek 2.4 Měřicí přístroj MS 5060 Plus

## 2.4 Specifikace přímo řízeného ventilu MO-4/10

Je to dvoucestný přímo řízený ventil MO-4/10. Maximální tlak je stanoven na hodnotu 350 bar a maximální průtok je  $50 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$ . Tělo ventilu je ocelové a externí části pozinkované. Hmotnost 0,13 kg.<sup>6</sup> Na obrázku 2.5 je řez ventilem MO-4/10 a v tabulce 2.1 je vysvětleno názvosloví ventilu.



Obrázek 2.5 Řez nepřímo řízeným ventilem RV10-26 (vlevo) a značka nepřímo řízeného ventilu RV10-26 (vpravo)<sup>6</sup>

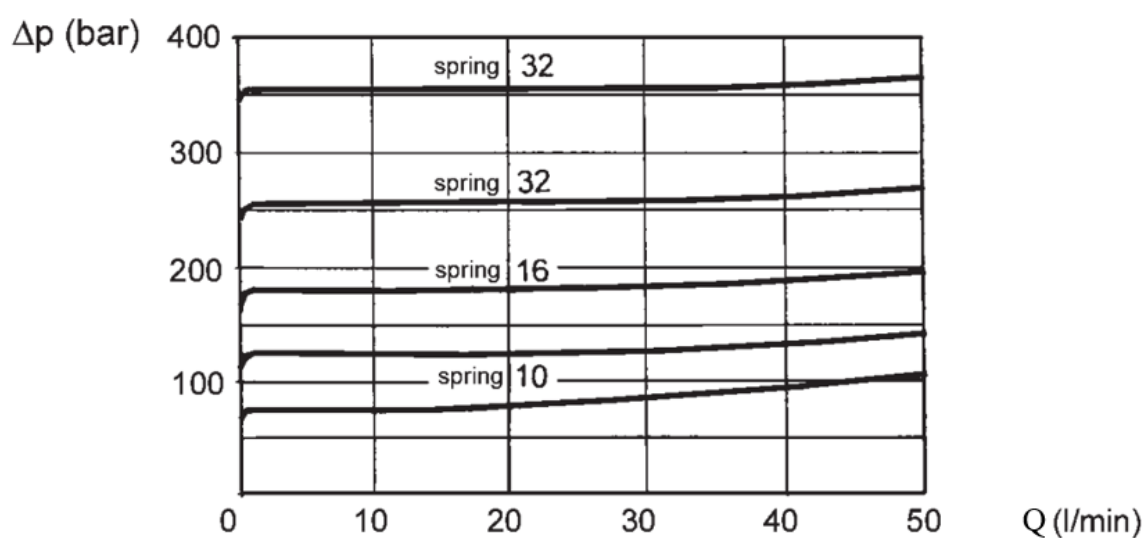


V tabulce 2.1 je uveden popis názvosloví ventilu.

Popis názvu ventilu MO -4/10	
MO	Přímo řízený ventil
4	Standardní velikost
10	Velikost pružiny

Tabulka 2.1 Popis názvosloví ventilu MO-4/10<sup>6</sup>

Na obrázku 2.6 je vidět závislost tlakového spádu na průtoku. Jelikož použitý ventil má pružinu velikosti 10, zajímá nás právě tato charakteristika.



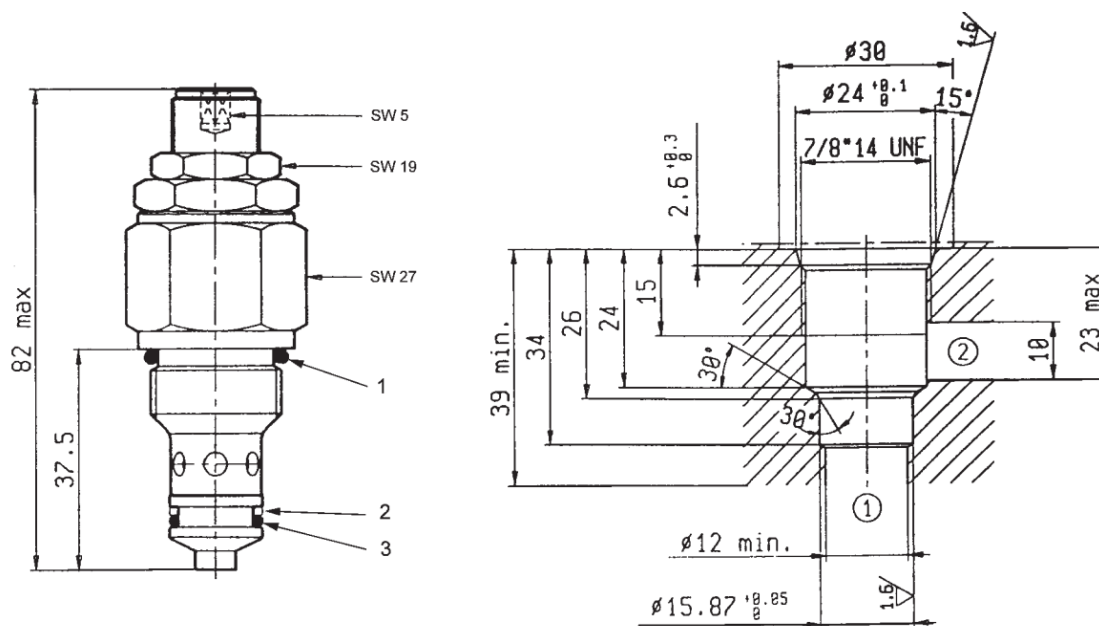
Obrázek 2.6 Závislost tlakového spádu na průtoku ventil MO-4/10<sup>6</sup>

V tabulce 2.2 je nastavení pružiny, kdy první sloupec označuje danou pružinu, druhý rozsah tlaku a třetí označuje přírůstek tlaku, přičemž je maximální tlak dán nastavením stlačení pružiny výstupním šroubem.

Velikost pružiny	Rozsah tlaku (bar)	přírůstek (bar/otáčka)
10	20 až 130	16,5
16	40 až 180	16,5
32	60 až 350	51

Tabulka 2.2 Typy pružin, jejich nastavení a rozsah<sup>6</sup>

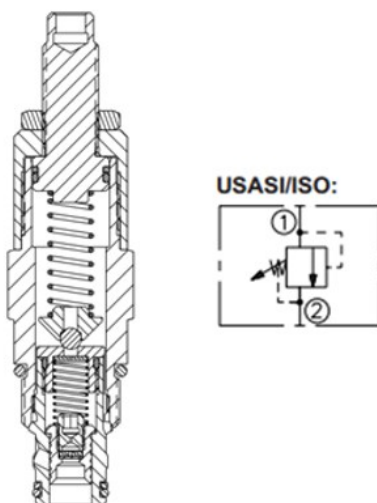
Na obrázku 2.7 jsou uvedeny rozměry ventilu MO-4/10<sup>6</sup>.



Obrázek 2.7 Rozměry ventilu MO-4/10<sup>6</sup>

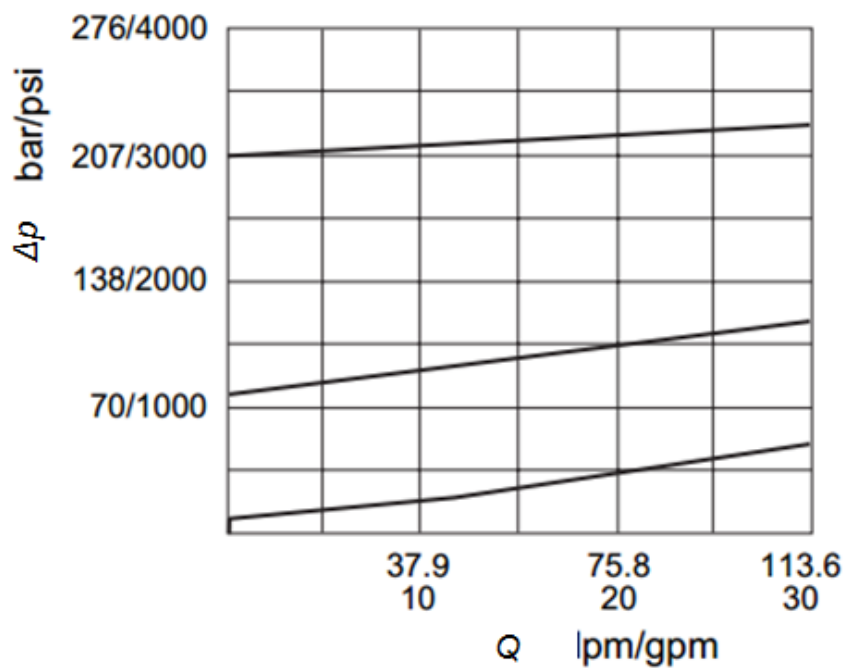
## 2.5 Specifikace nepřímě řízeného ventilu RV10-26

Jedná se o ventil do bloku/kostky v provedení cartridge, nepřímě řízený s šoupátkem, tlakovým rozpětím 240 bar a názvem RV10-26. Ventil funguje tak, že zamezuje průtok v pilotním ventilu pomocí kuličky. Jestliže překročí tlak mezní hodnotu, ventil se otevře a kapalina pokračuje do odpadu.<sup>7</sup> Na obrázku 2.8 je řez ventilem a značení tohoto ventilu.



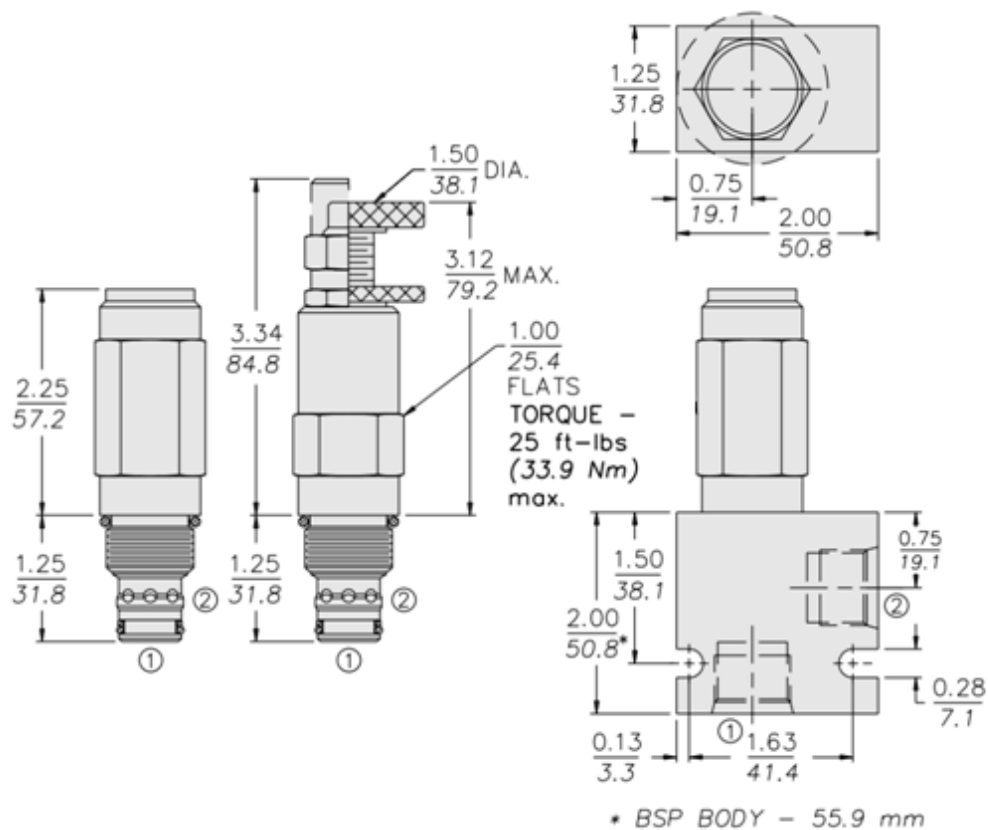
Obrázek 2.8 Řez nepřímě řízeným ventilem RV10-26 (vlevo) a značka nepřímě řízeného ventilu RV10-26 (vpravo)<sup>7</sup>

Na obrázku 2.9 je uvedena závislost tlakového spádu na průtoku pro přímo řízený ventil RV-10-26.



Obrázek 2.9 Závislost tlakového spádu na průtoku ventilu RV10-26<sup>7</sup>

Na obrázku 2.10 jsou rozměry nepřímo řízeného ventilu RV10-26.



Obrázek 2.10 Rozměry ventilu RV10-26<sup>7</sup>

### 3. Měření tlakové odezvy přímo a nepřímo řízeného tlakového ventilu při dynamické změně tlaku

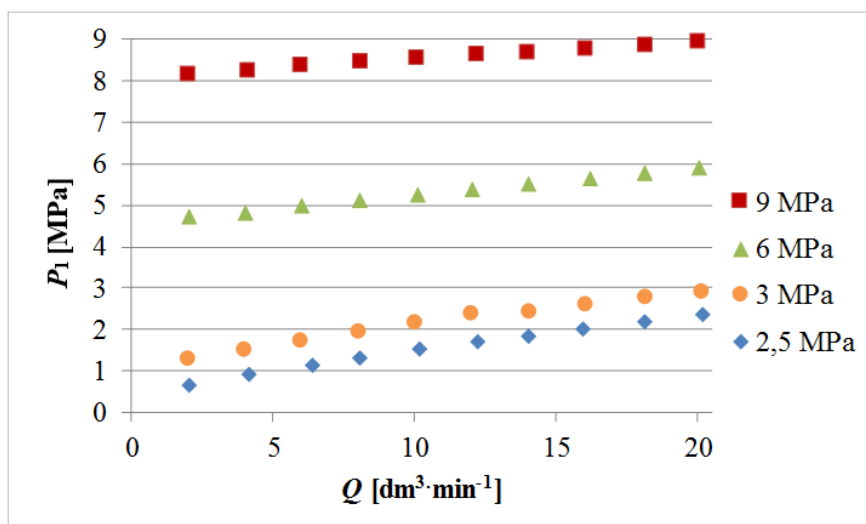
#### 3.1 Měření

Měření obou ventilů jsme prováděli při průtoku  $Q = (5; 10; 20) \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . První série měření byla při teplotě oleje  $\tau_1 = (32 \div 35) ^\circ\text{C}$ , průtoku  $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  a při tlacích na přímo řízeném ventilu MO-4/10  $p_1 = (0,5; 3; 5; 7; 9) \text{ MPa}$  a  $p_2 = (1,6; 3; 5; 7; 9) \text{ MPa}$  u ventilu RV10-26. Druhá série měření byla při nastavení průtoků  $Q = (10; 20) \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ , teplotě  $\tau_2 = (49 \div 52) ^\circ\text{C}$  a tlacích  $p_1 = (0,5; 3; 5; 7; 9) \text{ MPa}$  u přímo řízeného ventilu MO-4/10 a  $p_2 = (1,6; 3; 5; 7; 9) \text{ MPa}$  u nepřímo řízeného ventilu RV10-26. Dynamické hodnoty jsme zaznamenávali pomocí měřicího přístroje MS 5060 Plus přes snímače tlaku PR15. Dynamická data byla zpracována programem Hydrowin. Statická data byla zaznamenána odečtem hodnot z přístroje MS 5060. Pozn. u měření se teploty měnily, proto pro přehlednost budou uváděny střední hodnoty, tedy  $\tau_1 = 33,5 ^\circ\text{C}$  a  $\tau_2 = 50,5 ^\circ\text{C}$

#### 3.2 Zpracování statických charakteristik

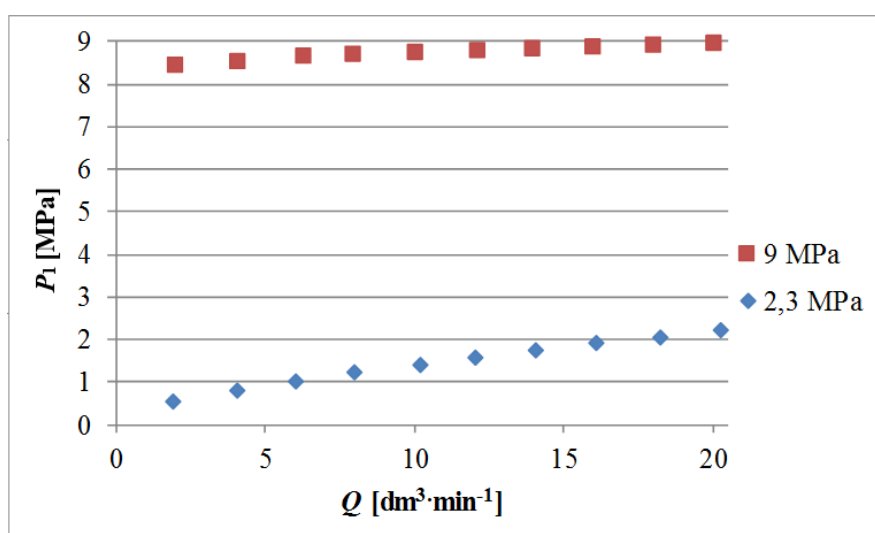
Na obrázku 3.1 až 3.4 jsou závislosti tlaku  $p$  před ventilem na průtoku  $Q$  pro ventily MO-4/10 a RV10-26 při teplotě  $\tau_1$  a  $\tau_2$  a při různých tlakových nastaveních. Na měřeném ventilu MO-4/10 byly nastaveny tlaky  $p_1 = (2,5; 3; 6; 9) \text{ MPa}$  a na ventilu RV10-26 byly nastaveny tlaky  $p_2 = (0,5; 3; 6; 9) \text{ MPa}$ . Průtok byl nastaven na hodnoty  $Q = (2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20) \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ .

Na obrázku 3.1 je vidět, že přímo řízený ventil MO-4/10 při nižším tlaku nedokáže vyvinout požadovaný tlak. Největší rozdíl je mezi minimálním a maximálním průtokem, při nastavení tlaku  $p_1 = 2,5 \text{ MPa}$  je při  $Q = 2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$   $p_1 = 0,65 \text{ MPa}$  a při průtoku  $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  je  $p_1 = 2,3 \text{ MPa}$ . S rostoucím tlakem se tento rozdíl snižuje. Při nastaveném tlaku  $p = 9 \text{ MPa}$  je při  $Q = 2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$   $p_1 = 8,14 \text{ MPa}$  a při průtoku  $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  je  $p_1 = 8,91 \text{ MPa}$ .



Obrázek 3.1 Statická charakteristika závislosti tlaku  $p$  před ventilem na průtoku  $Q$  při teplotě  $\tau_1 = 33,5\text{ °C}$  pro ventil MO-4/10

Na obrázku 3.2 je vidět, že vyšší teplota ovlivnila nastavení tlaku  $p_1 = 2,3\text{ MPa}$  minimálně. Při nastavení tlaku  $p = 2,3\text{ MPa}$  je při  $Q = 2\text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$   $p_1 = 0,54\text{ MPa}$  a při průtoku  $Q = 20\text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  je  $p_1 = 2,24\text{ MPa}$ . U nastaveného tlaku  $p_1 = 9\text{ MPa}$  jsou při vyšší teplotě rozdíly tlaku menší. Při nastaveném tlaku  $p_1 = 9\text{ MPa}$  je při  $Q = 2\text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$   $p_1 = 8,4\text{ MPa}$  a při průtoku  $Q = 20\text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  je  $p_1 = 8,93\text{ MPa}$ .

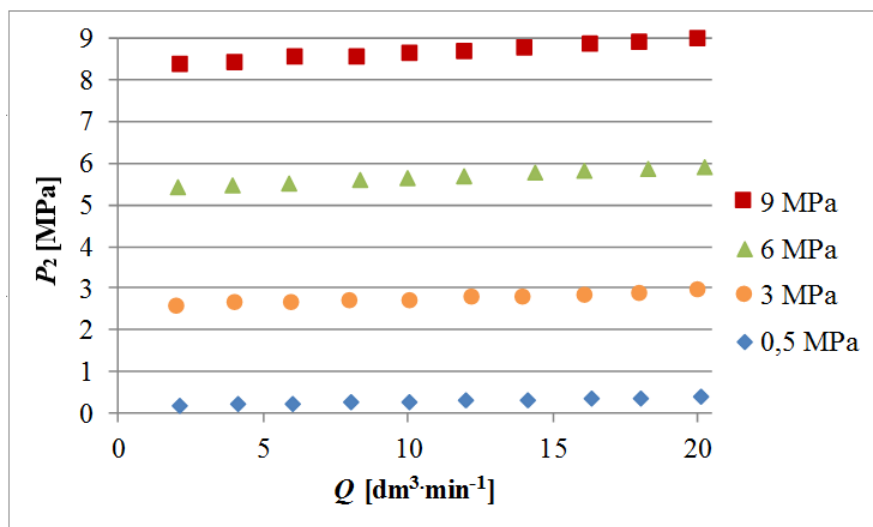


Obrázek 3.2 Statická charakteristika závislosti tlaku  $p$  před ventilem na průtoku  $Q$  při teplotě  $\tau_2 = 50,5\text{ °C}$  pro ventil MO-4/10

Na obrázku 3.3 je vidět, že nepřímě řízený ventil RV10-26 má oproti přímo řízenému ventilu MO-4/10 menší rozdíly v měřených tlacích napříč průtoky. Při nastavení tlaku  $p_2 = 0,5\text{ MPa}$  je při  $Q = 2\text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$   $p_2 = 0,19\text{ MPa}$  a při průtoku  $Q = 20\text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  je

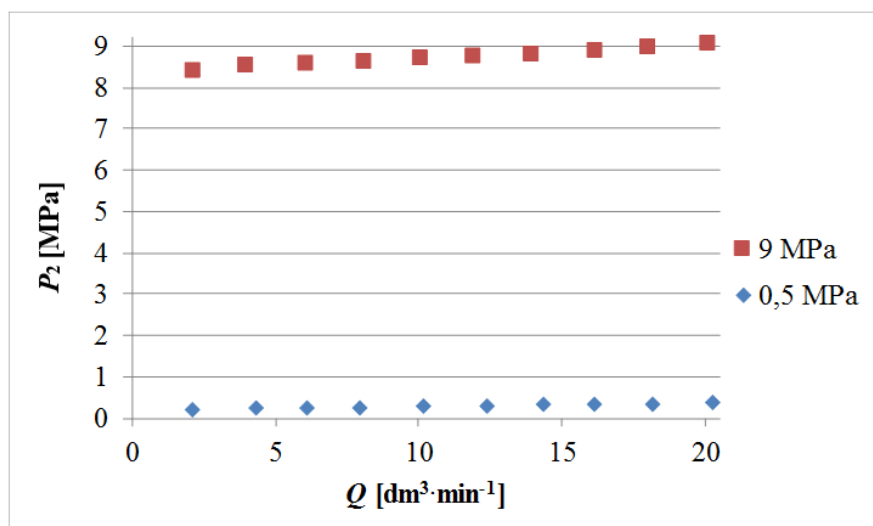


$p_2 = 0,39$  MPa. Při nastaveném tlaku  $p_2 = 9$  MPa je při  $Q = 2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$   $p_2 = 8,33$  MPa a při průtoku  $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  je  $p_2 = 8,94$  MPa.



Obrázek 3.3 Statická charakteristika závislosti tlaku  $p$  před ventilem na průtoku  $Q$  při teplotě  $\tau_1 = 33,5$  °C pro ventil RV10-26

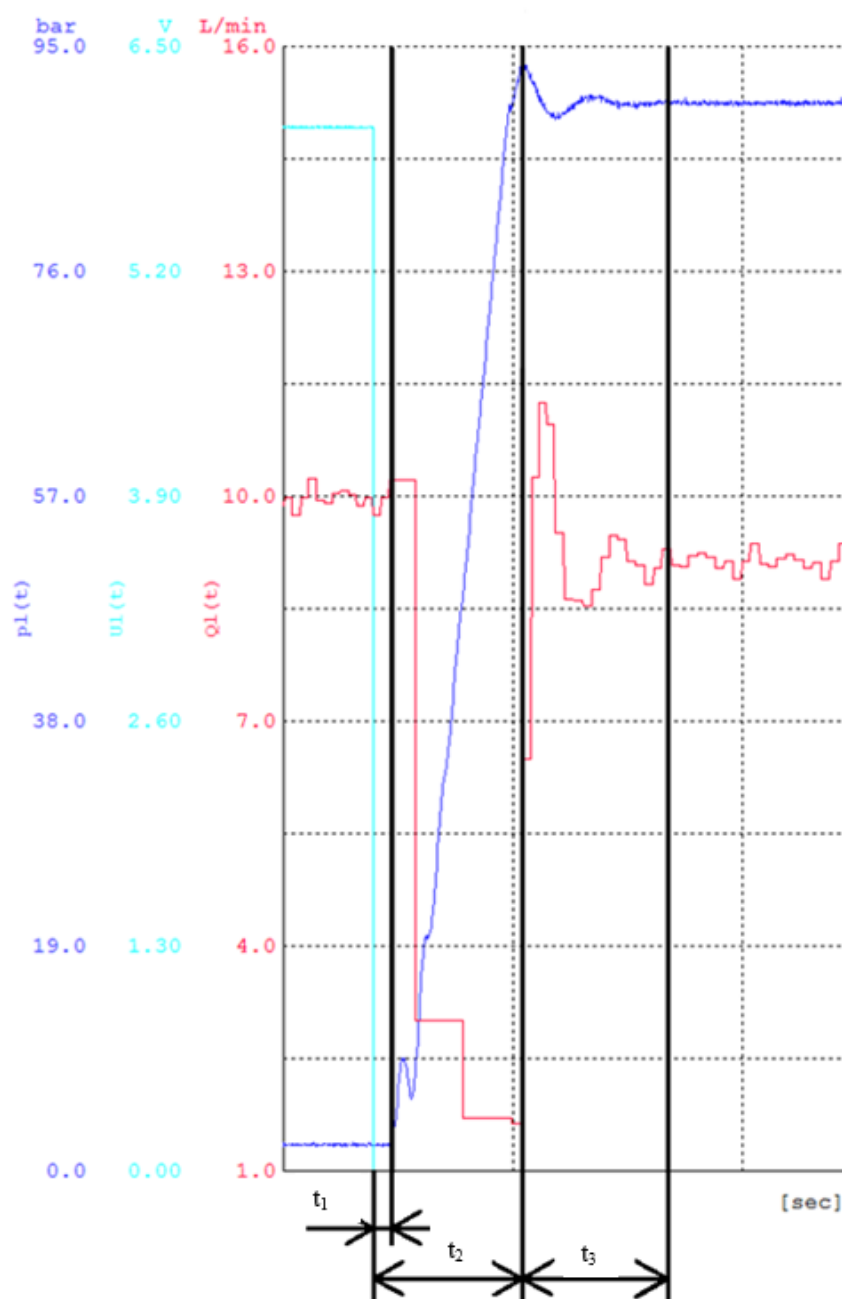
Na obrázku 3.4 je rozdíl oproti statické charakteristice závislosti tlaku  $p$  před ventilem na průtoku  $Q$  při teplotě  $\tau_1 = 33,5$  °C pro ventil RV10-26 minimální. Při nastavení tlaku  $p_2 = 0,5$  MPa je při  $Q = 2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$   $p_2 = 0,22$  MPa a při průtoku  $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  je  $p_2 = 0,38$  MPa. Při nastaveném tlaku  $p_2 = 9$  MPa je při  $Q = 2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$   $p_2 = 8,37$  MPa a při průtoku  $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  je  $p_2 = 9,03$  MPa.



Obrázek 3.4 Statická charakteristika závislosti tlaku  $p$  před ventilem na průtoku  $Q$  při teplotě  $\tau_2 = 50,5$  °C pro ventil RV10-26

### 3.3 Zpracování dynamických charakteristik

Na obrázku 3.5 je graf nárůstu tlaku přímo řízeného ventilu, zobrazený v programu HYDROWIN. V čase, kdy klesne hodnota napětí na 0 V, zavře se ventil (sepnutí ventilu). Ventil reaguje s viditelnou odezvou  $t_1$ , což je čas od rozepnutí napájecího obvodu ventilu do fyzické reakce. Tento čas je z velké části ovlivněn rychlostí uzavírání sedlového ventilu.  $t_2$  je pak čas od rozepnutí napájecího obvodu až po tlakovou špičku. Poté se tlak ustálí na nastavenou hodnotu tlaku, přičemž  $t_3$  je čas od tlakové špičky po ustálení.



Obrázek 3.5 Hydrowin – popis zpracování naměřených hodnot

V tabulkách 3.1 až 3.5 jsou zaznamenány hodnoty odezvy jednotlivých ventilů, při různém nastavení.

MO-4/10				RV10-26			
$t_1$ [s]	$t_2$ [s]	$t_3$ [s]	$p$ [MPa]	$t_1$ [s]	$t_2$ [s]	$t_3$ [s]	$p$ [MPa]
0,036	<b>0,269</b>	0,359	1	0,032	<b>0,167</b>	0,56	0,3
0,036	<b>0,341</b>	0,177	3	0,036	<b>0,361</b>	0,603	3
0,035	<b>0,414</b>	0,197	5	0,037	<b>0,449</b>	0,87	5
0,035	<b>0,674</b>	0,212	7	0,037	<b>0,531</b>	1,325	7
0,036	<b>0,577</b>	0,575	9	0,038	<b>0,614</b>	1,587	9

Tabulka 3.1 Porovnání odezvy ventilů MO-4/10 a RV10-26 při průtoku  $Q = 5 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$

a teplotě  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$

MO-4/10				RV10-26			
$t_1$ [s]	$t_2$ [s]	$t_3$ [s]	$p$ [MPa]	$t_1$ [s]	$t_2$ [s]	$t_3$ [s]	$p$ [MPa]
0,029	<b>0,135</b>	0,295	1,6	0,03	<b>0,043</b>	0,533	0,3
0,029	<b>0,136</b>	0,169	3	0,03	<b>0,147</b>	0,257	3
0,03	<b>0,168</b>	0,204	5	0,03	<b>0,186</b>	0,218	5
0,029	<b>0,210</b>	0,104	7	0,03	<b>0,237</b>	0,207	7
0,029	<b>0,247</b>	0,247	9	0,03	<b>0,263</b>	0,277	9

Tabulka 3.2 Porovnání odezvy ventilů MO-4/10 a RV10-26 při průtoku  $Q = 10 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$

a teplotě  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$

MO-4/10				RV10-26			
$t_1$ [s]	$t_2$ [s]	$t_3$ [s]	$p$ [MPa]	$t_1$ [s]	$t_2$ [s]	$t_3$ [s]	$p$ [MPa]
0,022	<b>0,089</b>	0,086	2,3	0,026	<b>0,042</b>	0,158	0,5
0,022	<b>0,09</b>	0,079	3	0,023	<b>0,073</b>	0,203	3
0,023	<b>0,091</b>	0,178	5	0,023	<b>0,092</b>	0,176	5
0,024	<b>0,111</b>	0,205	7	0,023	<b>0,197</b>	0,214	7
0,025	<b>0,121</b>	0,087	9	0,021	<b>0,128</b>	0,303	9

Tabulka 3.3 Porovnání odezvy ventilů MO-4/10 a RV10-26 při průtoku  $Q = 20 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$

a teplotě  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$

MO-4/10				RV10-26			
$t_1$ [s]	$t_2$ [s]	$t_3$ [s]	$p$ [MPa]	$t_1$ [s]	$t_2$ [s]	$t_3$ [s]	$p$ [MPa]
0,029	<b>0,099</b>	0,062	1,4	0,027	<b>0,074</b>	0,134	0,3
0,026	<b>0,161</b>	0,078	5	0,025	<b>0,176</b>	0,081	5
0,02	<b>0,240</b>	0,086	9	0,019	<b>0,257</b>	0,073	9

Tabulka 3.4 Porovnání odezvy ventilů MO-4/10 a RV10-26 při průtoku  $Q = 10 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$

a teplotě  $\tau_1 = 50,5^\circ\text{C}$

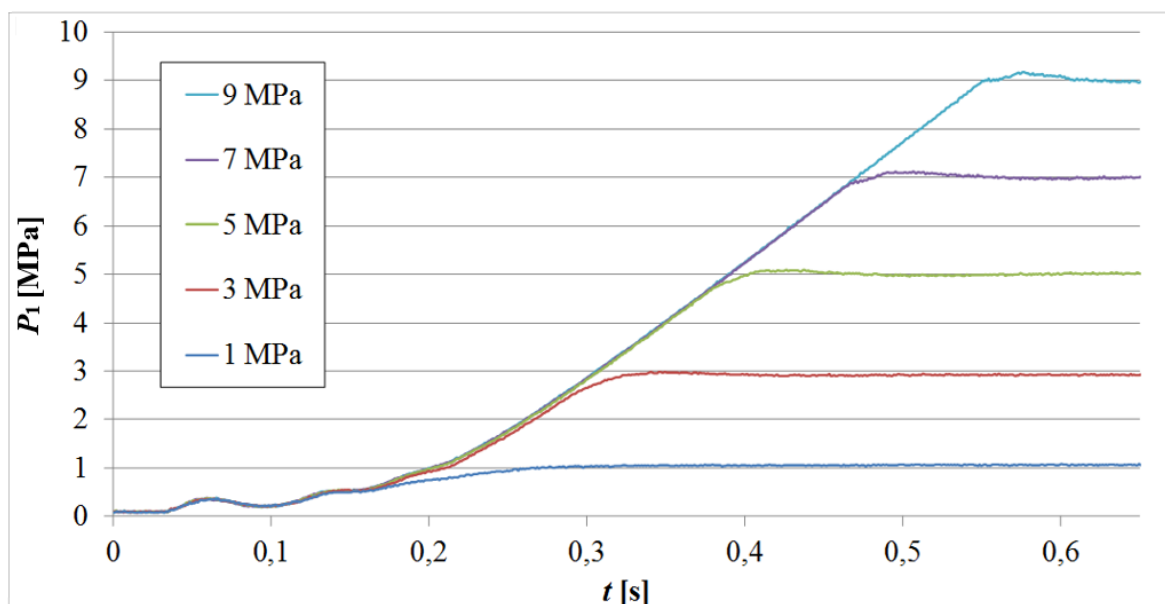
MO-4/10				RV10-26			
$t_1$ [s]	$t_2$ [s]	$t_3$ [s]	$p$ [MPa]	$t_1$ [s]	$t_2$ [s]	$t_3$ [s]	$p$ [MPa]
0,019	<b>0,096</b>	0,038	2,3	0,02	<b>0,042</b>	0,104	0,5
0,016	<b>0,089</b>	0,036	5	0,015	<b>0,091</b>	0,086	5
0,016	<b>0,128</b>	0,032	9	0,014	<b>0,130</b>	0,089	9

Tabulka 3.5 Porovnání odezvy ventilů MO-4/10 a RV10-26 při průtoku  $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$   
a teplotě  $\tau_1 = 50,5^\circ\text{C}$

Z tabulek lze vyčíst, že rozdíl v odezvě ventilů po rozepnutí napájecího obvodu  $t_1$  je ovlivnění změnou tlaku, průtoku i teplot je minimální. Rozdíly mezi časy nutnými k dosažení tlakové špičky  $t_2$  je se s rostoucím tlakem snižují. Průtok a teplota tyto časy zkracují. Nepřímo řízený ventil RV10-26 dosahuje vždy rychleji tlakové špičky při minimálním nastavení tlaku. S rostoucím tlakem a teplotou se tyto rozdíly snižují. Čas  $t_3$  nutný k ustálení hodnoty tlaku po dosažení tlakové špičky je největší u průtoku  $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ , kdy je u nepřímo řízeného ventilu RV10-26  $t_3$  až 6,25x delší než u přímo řízeného ventilu MO4-10. Nejmenší rozdíly v čase  $t_3$  jsou u průtoku  $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  a teploty  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ , kde je čas  $t_3$  u nepřímo řízeného ventilu RV10-26 maximálně 2x větší než u přímo řízeného MO-4/10. Podobné hodnoty vycházejí i u teploty  $\tau_1 = 50,5^\circ\text{C}$ , kde je maximální rozdíl času  $t_3$  vyšší (2,2x vyšší hodnota u ventilu RV10-26).

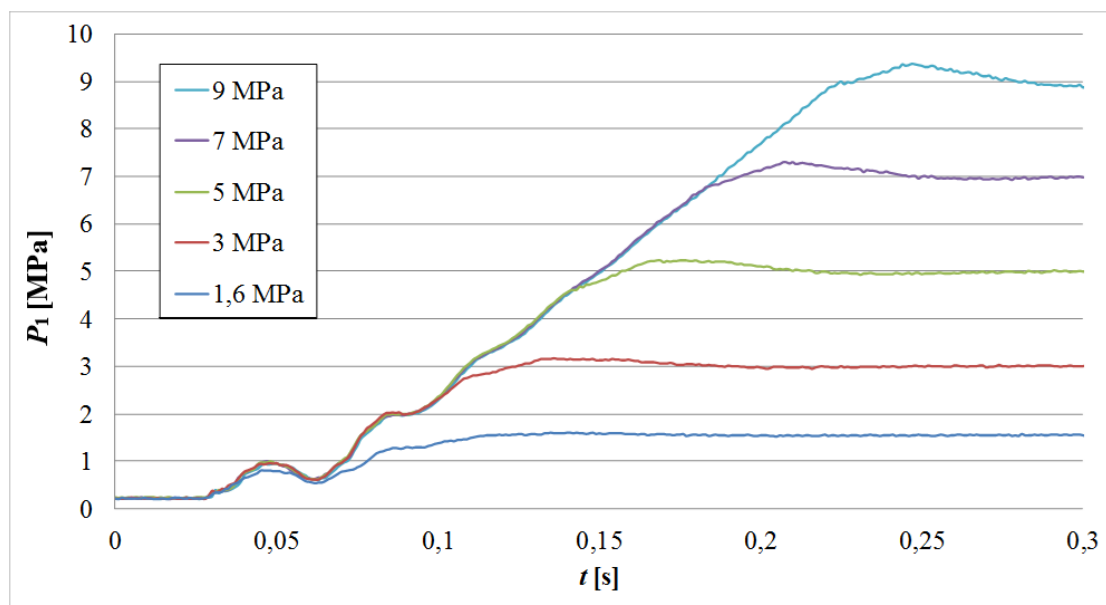
### **3.4 Vyhodnocení a porovnání tlakové odezvy přímo řízeného ventilu MO-4/10**

Na obrázku 3.6 je graf nárůstu tlaku v čase pro ventil MO-4/10 s průtokem  $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  a teplotou  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ . Z grafu je vidět, že hodnoty tlakové špičky jsou zanedbatelné. Naměřená velikost špičky  $p_1 = (1,05; 2,99; 5,07; 7,04; 9,16) \text{ MPa}$ . Hodnota tlaku po ustálení  $p_1 = (1,04; 2,94; 5,02; 7,29; 9,00) \text{ MPa}$ . Velikost špičky je průměrně o 1,5% vyšší než hodnota tlaku po ustálení.



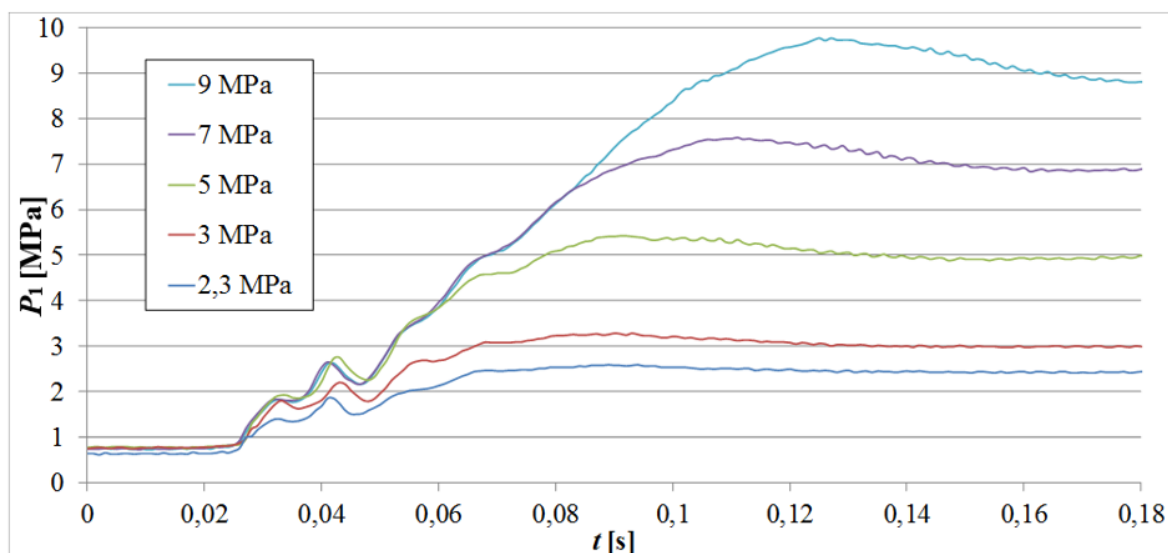
Obrázek 3.6 Nárůst tlaku v čase ventil MO-4/10 s  $Q = 5 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$

Na obrázku 3.7 je graf nárůstu tlaku v čase pro ventil MO-4/10 s průtokem  $Q = 10 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$  a teplotou  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ . Z grafu je vidět, že hodnoty tlakové špičky jsou oproti průtoku  $Q = 5 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$  patrnější. Naměřená velikost špičky  $p_1 = (1,59; 3,17; 5,00; 7,31; 9,39) \text{ MPa}$ . Hodnota tlaku po ustálení  $p_1 = (1,54; 3,01; 5,00; 6,99; 8,94) \text{ MPa}$ . Velikost špičky je průměrně o 5,3% vyšší než hodnota tlaku po ustálení.



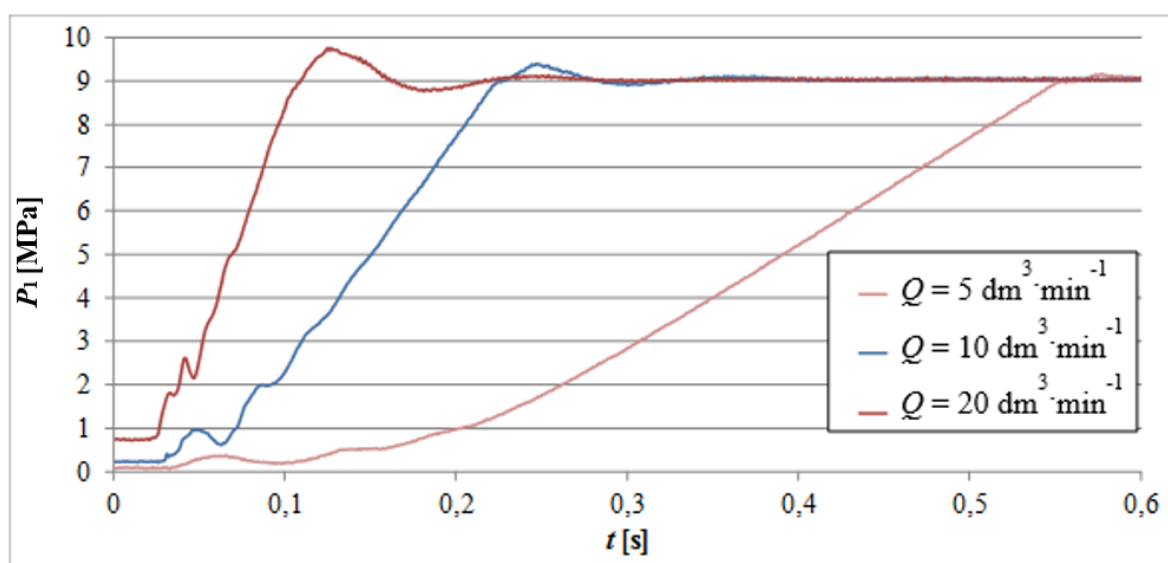
Obrázek 3.7 Nárůst tlaku v čase ventil MO-4/10 s  $Q = 10 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$

Na obrázku 3.8 je graf nárůstu tlaku v čase pro ventil MO-4/10 s průtokem  $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  a teplotou  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ . Z grafu je vidět, že hodnoty tlakové špičky jsou oproti průtoku  $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  a  $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  patrnější. Naměřená velikost špičky  $p_1 = (2,58; 3,23; 5,42; 7,58; 9,76) \text{ MPa}$ . Hodnota tlaku po ustálení  $p_1 = (2,34; 3,01; 4,99; 7,04; 9,01) \text{ MPa}$ . Velikost špičky je průměrně o 7,8% vyšší než hodnota tlaku po ustálení.



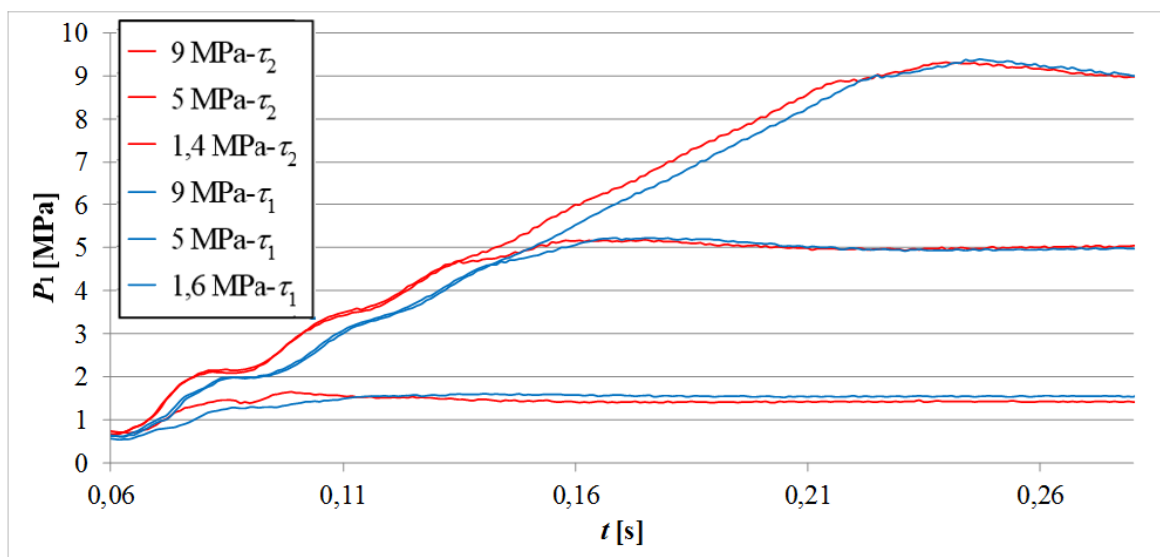
Obrázek 3.8 Nárůst tlaku v čase ventil MO-4/10 s  $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$

Obrázek 3.9 porovnává různé průtoky ventilu MO-4/10 při maximálním tlaku  $p_1 = 9 \text{ MPa}$ . Je vidět, že se rychlost dosažení tlakového maxima  $p = 9 \text{ MPa}$  zvyšuje s průtokem. Velikost tlakových špiček  $p_1 = (9,16; 9,39; 9,76) \text{ MPa}$  a čas pro dosažení této špičky  $t_2 = (0,577; 0,247; 0,126) \text{ s}$ .



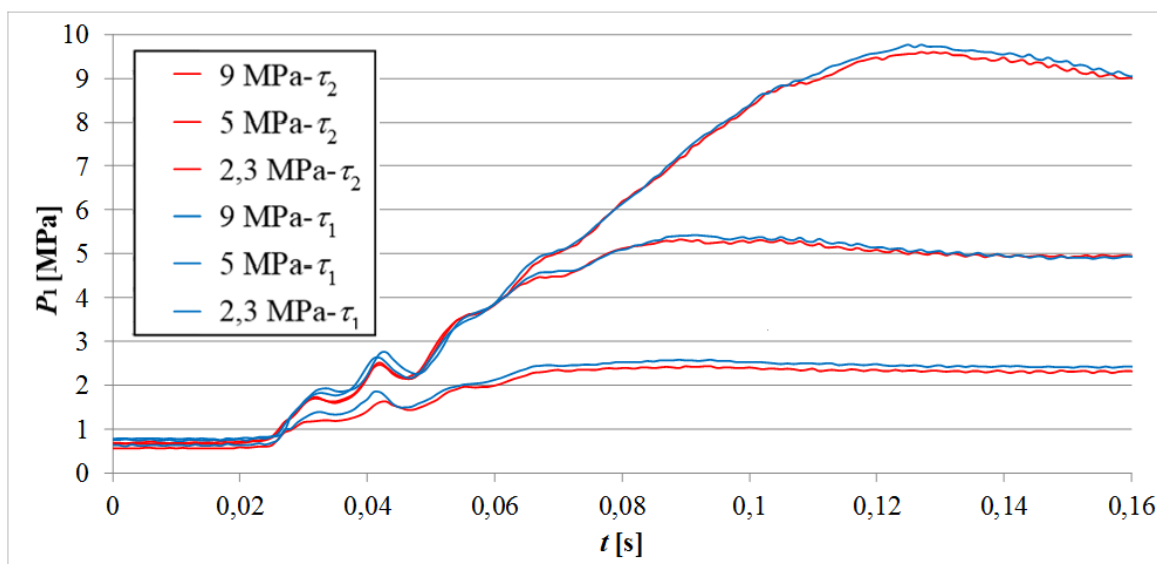
Obrázek 3.9 Porovnání průtoků při maximálním tlaku  $p = 9 \text{ MPa}$  při teplotě  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$

Na obrázku 3.10 je graf vlivu teploty oleje na nárůst tlaku v čase ventilu MO-4/10 při průtoku  $Q = 10 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$ . Z grafu je vidět, že ventil má při vyšší teplotě rychlejší reakce. Při tlaku  $p_1 = 9 \text{ MPa}$  a  $p_1 = 5 \text{ MPa}$  je rozdíl v čase dosažení tlakové špičky  $t_2$  0,07 s, u tlaku  $p_1 = 1,6 \text{ MPa}$  a  $p_1 = 1,4 \text{ MPa}$  je rozdíl v čase  $t_2$  0,36 s.



Obrázek 3.10 Vliv teploty oleje na nárůst tlaku v čase ventilu MO-4/10 při průtoku  $Q = 10 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$

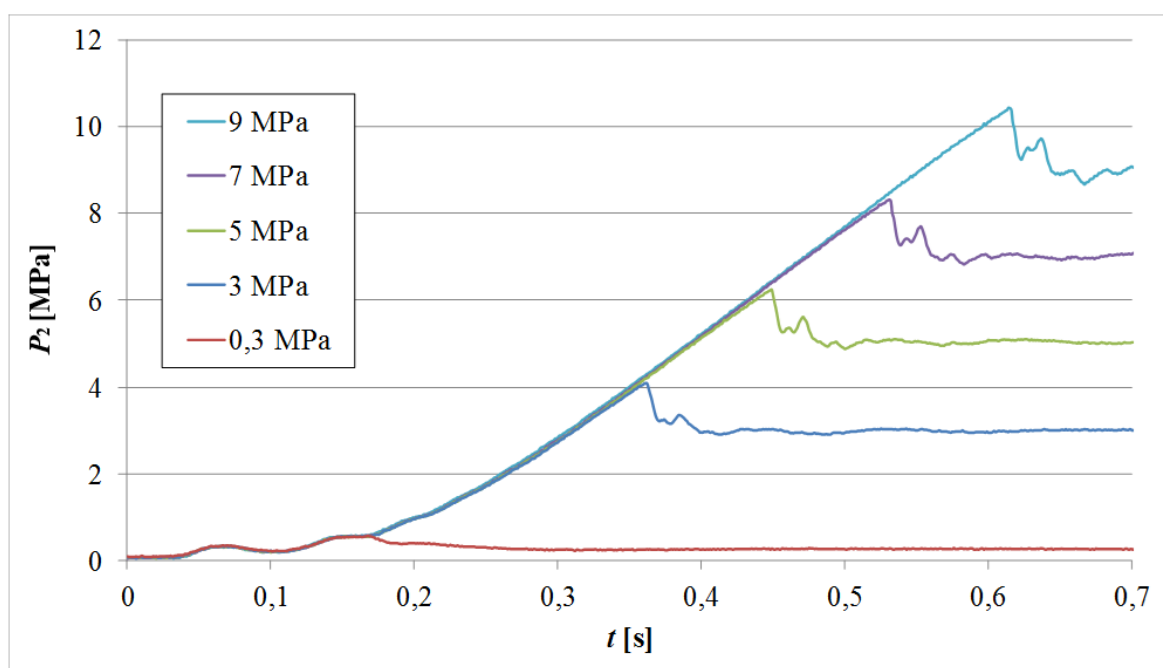
Na obrázku 3.11 je graf vlivu teploty oleje na nárůst tlaku v čase ventilu MO-4/10 při průtoku  $Q = 20 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$ . Oproti průtoku  $Q = 10 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$  je rozdíl v rychlosti reakce zanedbatelný. Největší rozdíl je při průtoku  $p_1 = 9 \text{ MPa}$  ( $t_2$  je 0,07 s).



Obrázek 3.11 Vliv teploty oleje na nárůst tlaku v čase ventilu MO-4/10 při průtoku  $Q = 20 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$

### 3.5 Vyhodnocení a porovnání tlakové odezvy nepřímo řízeného ventilu RV10-26

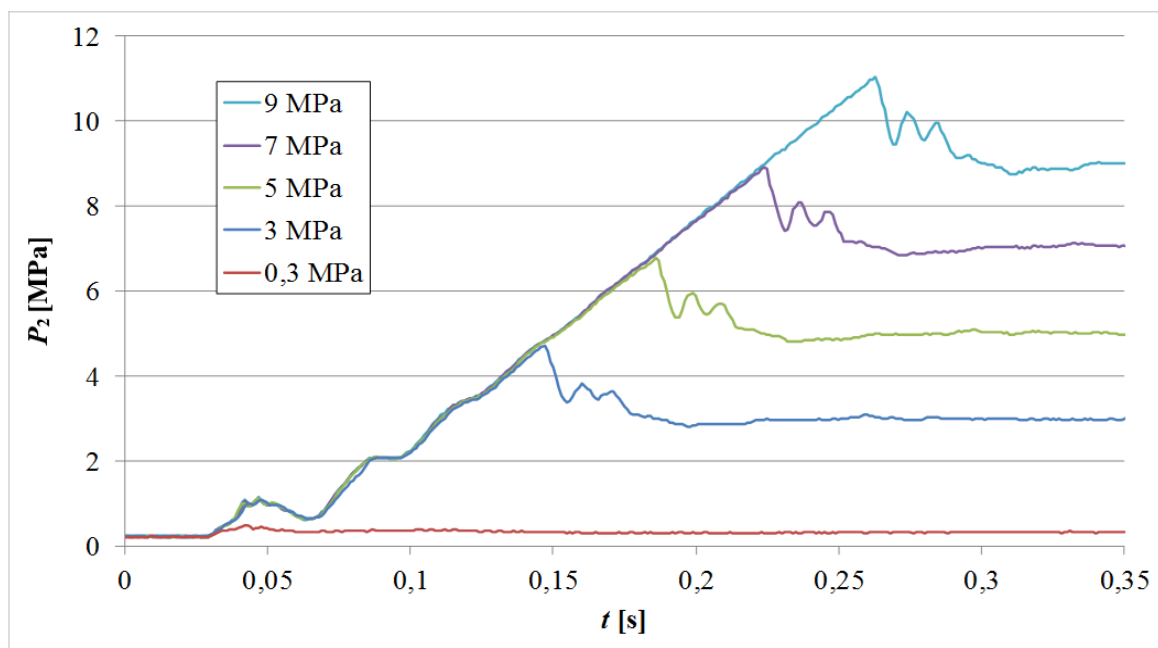
Na obrázku 3.12 je graf nárůstu tlaku v čase pro ventil RV10-26 s průtokem  $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  a teplotou  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ . Z grafu je vidět, že hodnoty tlakové špičky jsou výrazné a přechod na ustálení mají skokový. Naměřená velikost špičky  $p_2 = (0,55; 4,10; 6,24; 8,31; 10,44) \text{ MPa}$ . Hodnota tlaku po ustálení  $p_2 = (0,34; 3,04; 5,03; 7,04; 9,07) \text{ MPa}$ . Velikost tlakové špičky se v poměru k ustálené hodnotě s rostoucím tlakem klesá. U maximální hodnoty tlaku  $p_2 = 9 \text{ MPa}$  je o 15,1 % vyšší než hodnota tlaku po ustálení a u minimální hodnoty tlaku  $p_2 = 0,3 \text{ MPa}$  o 38,2 % vyšší než hodnota tlaku po ustálení.



Obrázek 3.12 Nárůst tlaku v čase ventil RV10-26 s průtokem  $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$

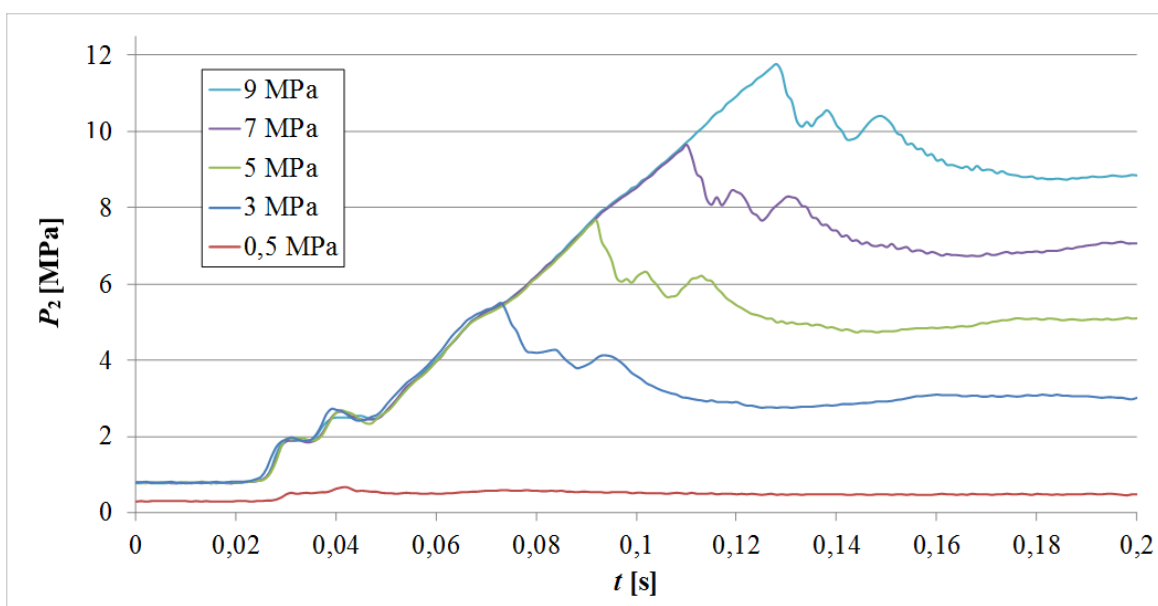
Na obrázku 3.13 je graf nárůstu tlaku v čase pro ventil RV10-26 s průtokem  $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  a teplotou  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ . Oproti průtoku  $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  je velikost naměřených tlakových špiček vyšší. Naměřená velikost špičky  $p_2 = (0,26; 4,71; 6,77; 8,10; 11,04) \text{ MPa}$ . Hodnota tlaku po ustálení  $p_2 = (0,25; 2,98; 4,87; 7,04; 9,02) \text{ MPa}$ . U maximální hodnoty tlaku  $p_2 = 9 \text{ MPa}$  je o 22,3 % vyšší než hodnota tlaku po ustálení.





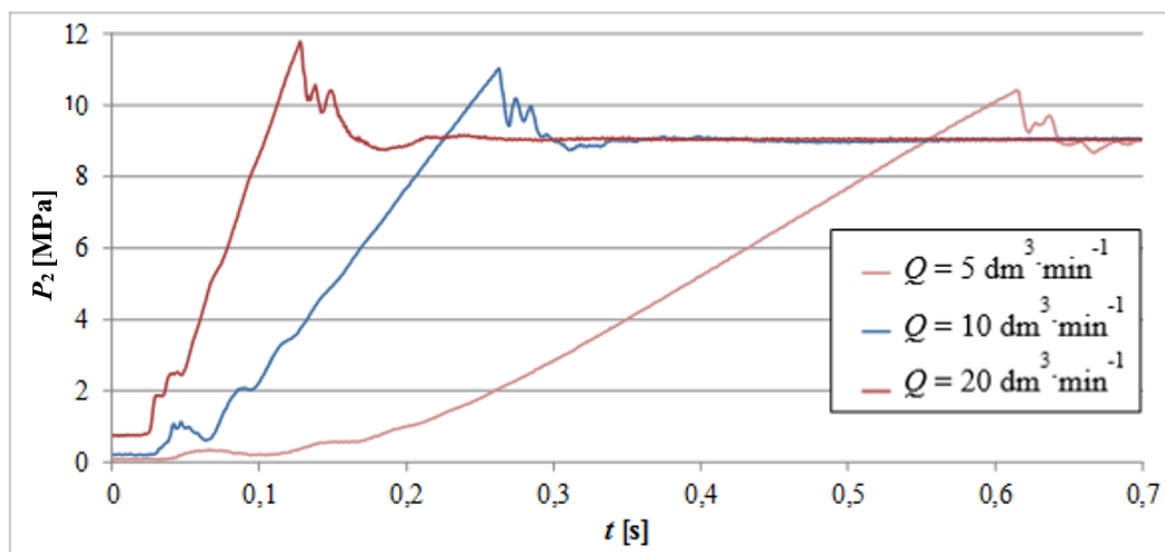
Obrázek 3.13 Nárůst tlaku v čase ventil RV10-26 s průtokem  $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$

Na obrázku 3.14 je graf nárůstu tlaku v čase pro ventil RV10-26 s průtokem  $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  a teplotou  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ . Oproti průtoku  $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  a  $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  je velikost naměřených tlakových špiček vyšší. Naměřená velikost špičky  $p_2 = (0,67; 5,51; 7,67; 9,64; 11,78) \text{ MPa}$ . Hodnota tlaku po ustálení  $p_2 = (0,54; 3,07; 5,05; 7,05; 9,06) \text{ MPa}$ . U maximální hodnoty tlaku  $p_2 = 9 \text{ MPa}$  je o 30 % vyšší než hodnota tlaku po ustálení.



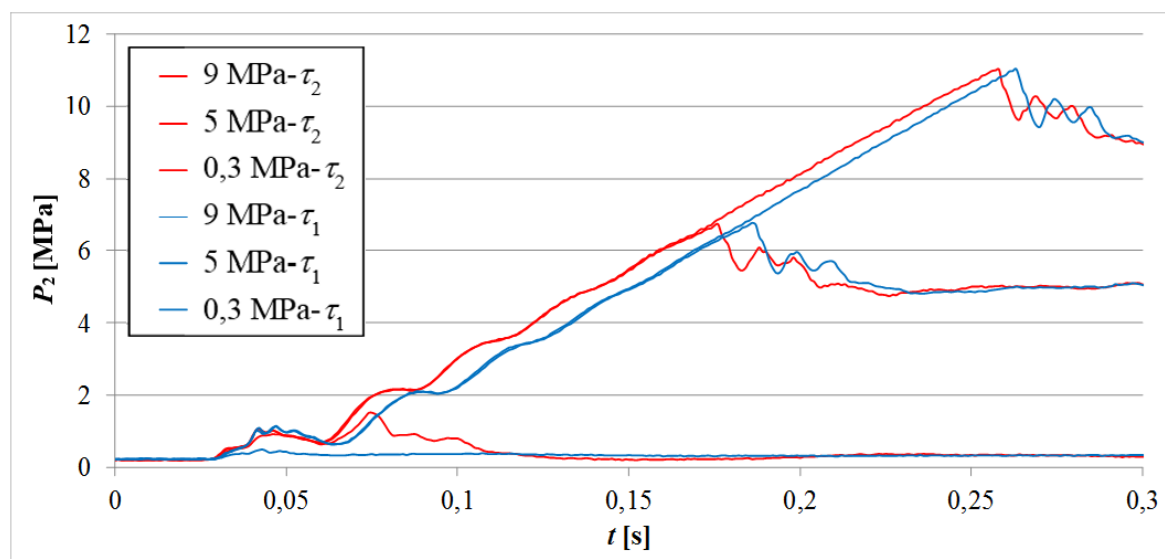
Obrázek 3.14 Nárůst tlaku v čase ventil RV10-26 s průtokem  $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$

Obrázek 3.15 porovnává různé průtoky ventilu RV10-26 při maximálním tlaku  $p_1 = 9$  MPa. Rychlost dosažení tlakového maxima  $p = 9$  MPa se zvyšuje s průtokem. Velikost tlakových špiček  $p_1 = (10,44; 11,04; 11,78)$  MPa a čas pro dosažení této špičky  $t_2 = (0,614; 0,263; 0,128)$  s.



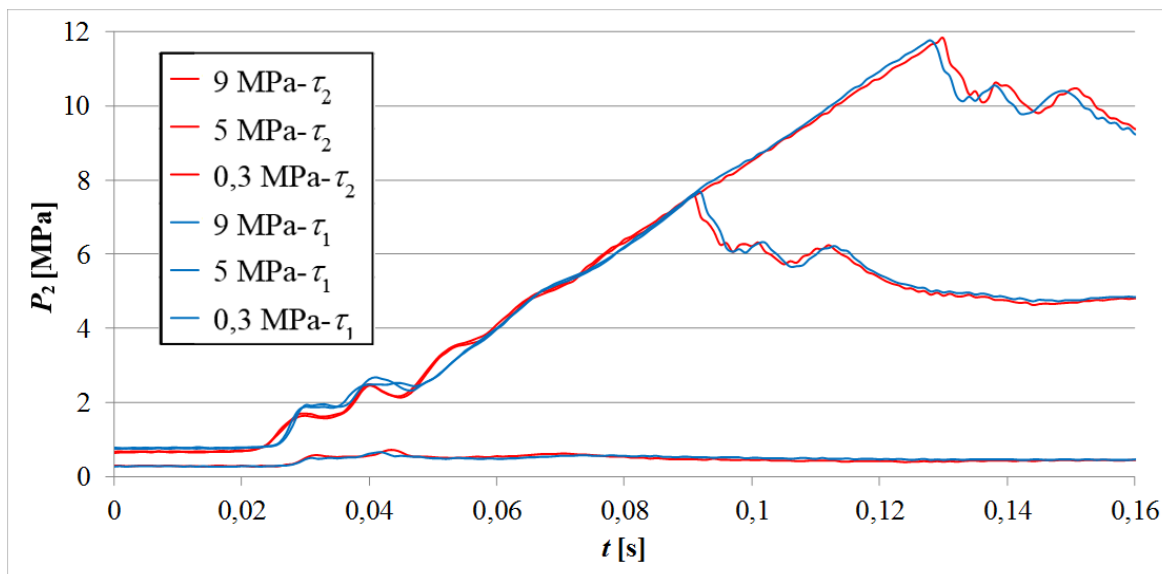
Obrázek 3.15 Porovnání průtoků ventilu RV10-26 při maximálním tlaku  $p = 9$  MPa  
při teplotě  $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$

Na obrázku 3.16 je graf vlivu teploty oleje na nárůst tlaku v čase ventilu RV10-26 při průtoku  $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . Z grafu je obdobně jako u přímo řízeného ventilu MO-4/10 vidět, že má ventil RV10-26 při vyšší teplotě rychlejší reakce. Při tlaku  $p_1 = 9$  MPa je rozdíl v čase dosažení tlakové špičky  $t_2$  0,06 s, u tlaku  $p_1 = 5$  MPa je rozdíl v čase  $t_2$  0,1 s.



Obrázek 3.16 Vliv teploty oleje na nárůst tlaku v čase ventilu RV10-26  
při průtoku  $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

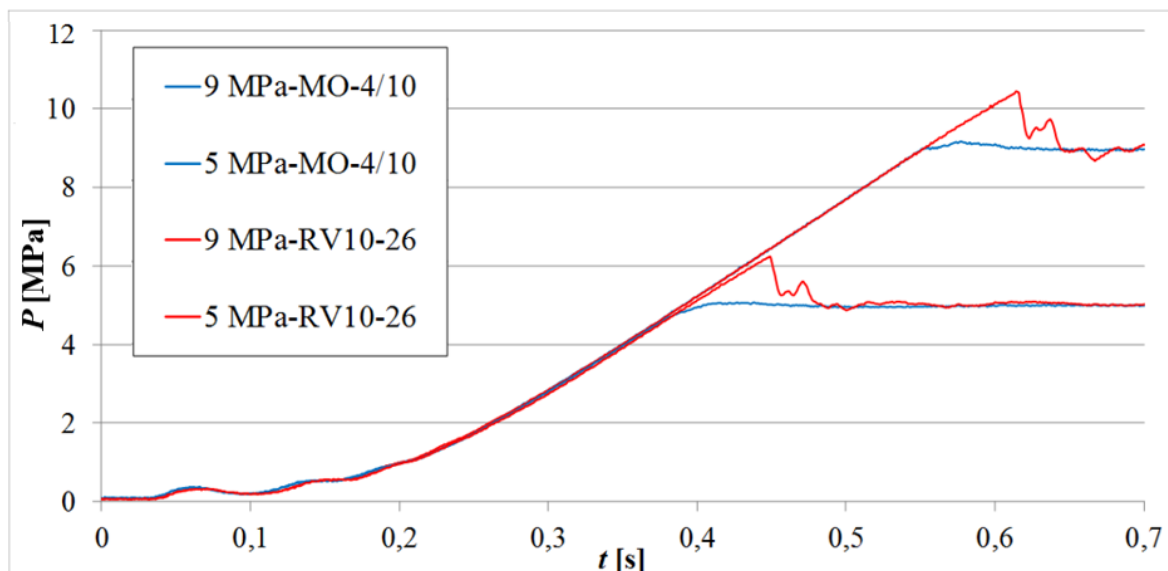
Na obrázku 3.17 je graf vlivu teploty oleje na nárůst tlaku v čase ventilu RV10-26 při průtoku  $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . Oproti průtoku  $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  je rozdíl v rychlosti reakce zanedbatelný podobně jako u přímo řízeného ventilu MO-4/10. Největší rozdíl je při průtoku  $p_1 = 9 \text{ MPa}$  ( $t_2$  je 0,02 s).



Obrázek 3.17 Vliv teploty oleje na nárůst tlaku v čase ventilu RV10-26  
při průtoku  $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

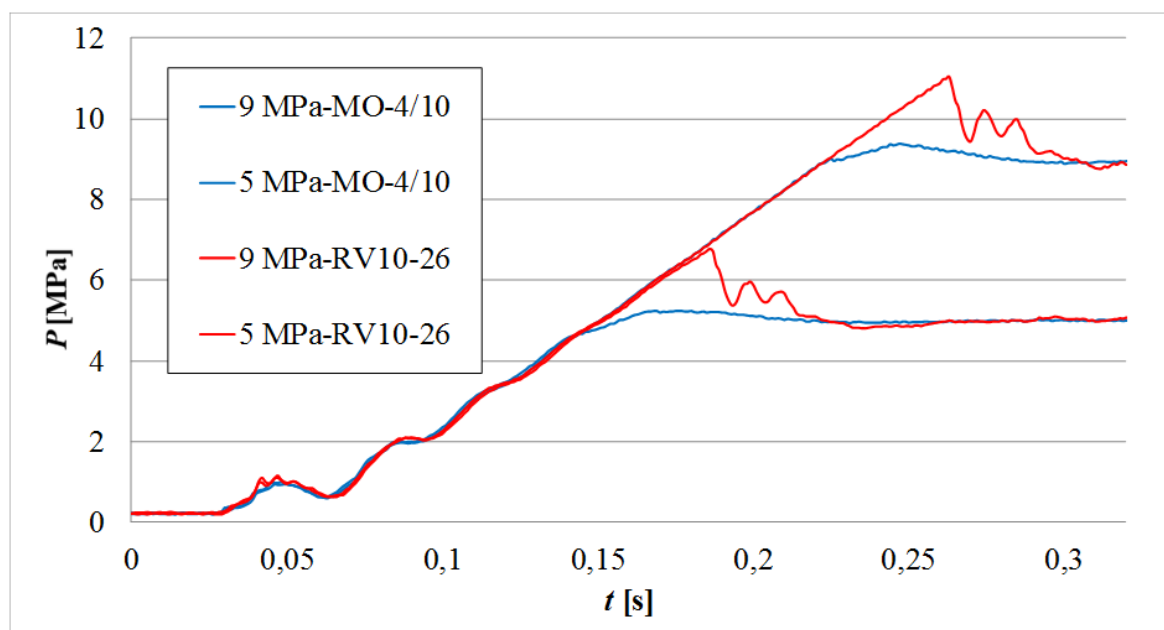
### 3.6 Vyhodnocení a porovnání tlakové odezvy přímo i nepřímo řízených ventilů MO-4/10 a RV10-26

Na obrázku 3.18 je porovnání nárůstu tlaku ventilů v čase s průtokem  $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_1$ . Z grafu lze vyčíst, že průběh i čas pro dosažení nastavené hodnoty tlaku  $p$  mají oba ventily obdobné a rozdíly jsou zanedbatelné. Zřetelný rozdíl je až při dosažení požadovaného tlaku a tlakové špičce, kterou má nepřímo řízený ventil RV10-26 výrazně vyšší. Kvůli jeho složitější konstrukci má v této oblasti dosažení tlakového maxima také větší rozkmit a výrazně delší čas pro ustálení tlaku  $p$ . Ventil MO-4/10 má po dosažení tlakové špičky plynulý průběh do ustálení. Rozdíl velikosti tlakových špiček mezi ventilem přímo řízeným ventilem MO-4/10 a nepřímo řízeným ventilem RV10-26 je pro tlak  $p = 9 \text{ MPa}$  je 1,28 MPa a při tlaku  $p = 5 \text{ MPa}$  je 1,17 MPa, přičemž RV10-26 má hodnoty tlaku vyšší. Rozdíl v čase dosažení tlakové špičky  $t_2$  mezi ventily při tlaku  $p = 9 \text{ MPa}$  je 0,037 s a při tlaku  $p = 5 \text{ MPa}$  je 0,035 s, přičemž MO-4/10 dosáhne tlakové špičky rychleji.



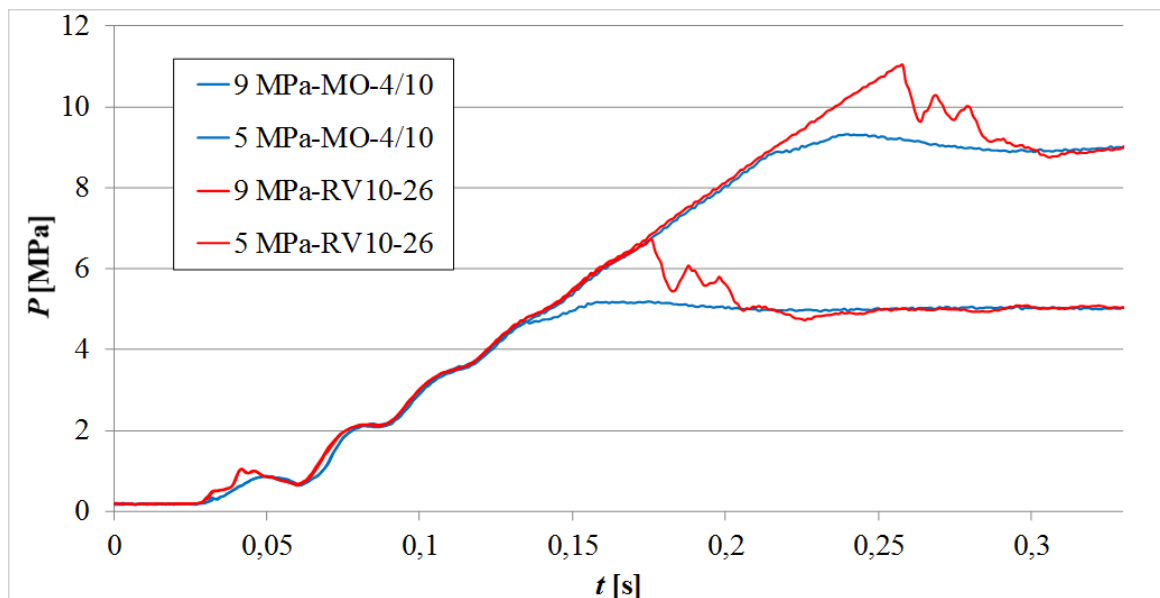
Obrázek 3.18 Nárůst tlaku v čase pro ventil MO-4/10 a RV10-26 s průtokem  $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_1$

Na obrázku 3.19 je porovnání nárůstu tlaku ventilů v čase s průtokem  $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_1$ . Průběh je obdobný jako u průtoku  $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . Rozdíl velikosti tlakových špiček mezi ventilem přímo řízeným ventilem MO-4/10 a nepřímo řízeným ventilem RV10-26 je pro tlak  $p = 9 \text{ MPa}$  je 1,65 MPa a při tlaku  $p = 5 \text{ MPa}$  je 1,77 MPa, přičemž RV10-26 má hodnoty tlaku vyšší. Rozdíl v čase dosažení tlakové špičky  $t_2$  mezi ventily při tlaku  $p = 9 \text{ MPa}$  je 0,016 s a při tlaku  $p = 5 \text{ MPa}$  je 0,018 s, přičemž MO-4/10 dosáhne tlakové špičky rychleji.



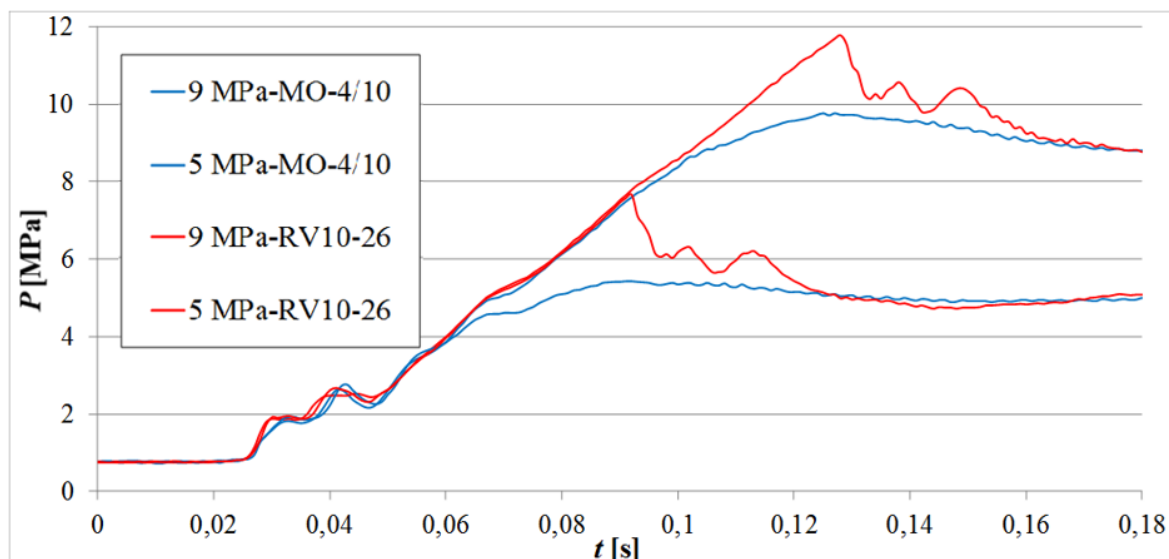
Obrázek 3.19 Nárůst tlaku v čase pro ventil MO-4/10 a RV10-26 s průtokem  $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_1$

Na obrázku 3.20 porovnání nárůstu tlaku ventilů v čase s průtokem  $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_2$ . Průběh je obdobný jako u teploty  $\tau_1$ . Při teplotě  $\tau_2$  dosáhnou přímo řízený ventil MO-4/10 i nepřímý řízený ventil RV10-26 tlakové špičky rychleji než u teploty  $\tau_1$ . Rozdíl velikostí tlakových špiček mezi přímo řízeným ventilem MO-4/10 a nepřímým řízeným ventilem RV10-26 je pro tlak  $p = 9 \text{ MPa}$  je 1,68 MPa a při tlaku  $p = 5 \text{ MPa}$  je 1,55 MPa, přičemž RV10-26 má hodnoty tlaku vyšší. Rozdíl v čase dosažení tlakové špičky  $t_2$  mezi ventily při tlaku  $p = 9 \text{ MPa}$  je 0,017 s a při tlaku  $p = 5 \text{ MPa}$  je 0,015 s, přičemž MO-4/10 dosáhne tlakové špičky rychleji.



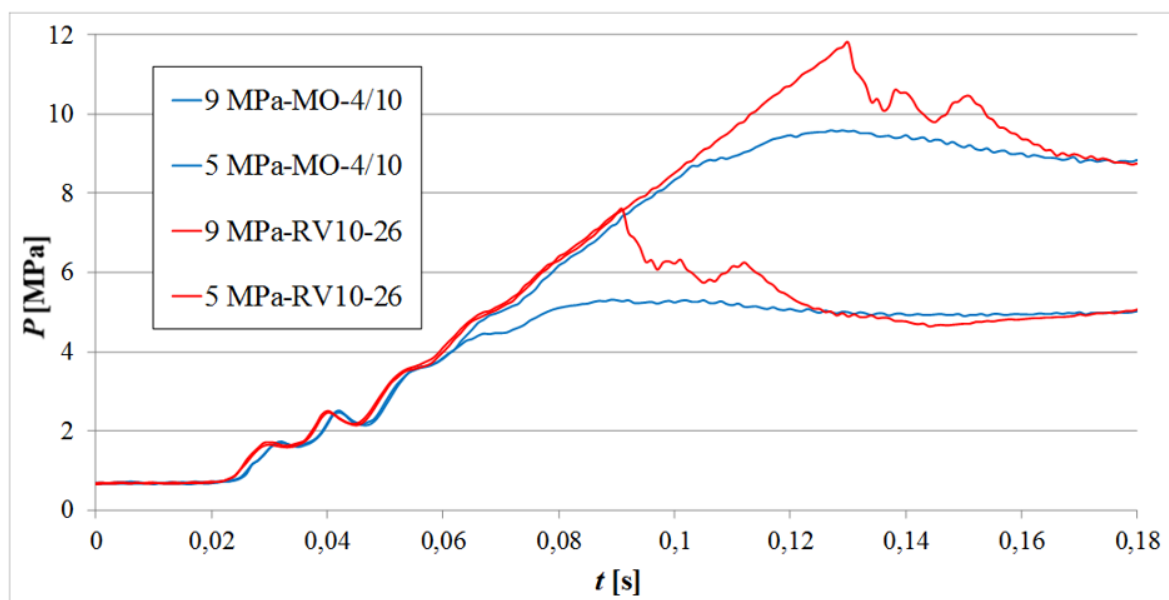
Obrázek 3.20 Nárůst tlaku v čase pro ventil MO-4/10 a RV10-26 s průtokem  $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_2$

Na obrázku 3.21 je porovnání nárůstu tlaku ventilů v čase s průtokem  $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_1$ . Rozdíl velikosti tlakových špiček mezi přímo řízeným ventilem MO-4/10 a nepřímým řízeným ventilem RV10-26 je pro tlak  $p = 9 \text{ MPa}$  je 2,64 MPa a při tlaku  $p = 5 \text{ MPa}$  je 2,25 MPa, přičemž RV10-26 má hodnoty tlaku vyšší. Rozdíl v čase dosažení tlakové špičky  $t_2$  mezi ventily při tlaku  $p = 9 \text{ MPa}$  je 0,007 s a při tlaku  $p = 5 \text{ MPa}$  je 0,01 s, přičemž MO-4/10 dosáhne tlakové špičky rychleji.



Obrázek 3.21 Nárůst tlaku v čase pro ventil MO-4/10 a RV10-26 s průtokem  $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_1$

Na obrázku 3.22 je porovnání nárůstu tlaku ventilů v čase s průtokem  $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_2$ . Rozdíl velikosti tlakových špiček mezi přímo řízeným ventilem MO-4/10 a nepřímo řízeným ventilem RV10-26 je pro tlak  $p = 9 \text{ MPa}$  je 2,23 MPa a při tlaku  $p = 5 \text{ MPa}$  je 2,28 MPa, přičemž RV10-26 má hodnoty tlaku vyšší. Rozdíl v čase dosažení tlakové špičky  $t_2$  mezi ventily při tlaku  $p = 9 \text{ MPa}$  je 0,002 s a při tlaku  $p = 5 \text{ MPa}$  je 0,02 s, přičemž MO-4/10 dosáhne tlakové špičky rychleji.



Obrázek 3.22 Nárůst tlaku v čase pro ventil MO-4/10 a RV10-26 s průtokem  $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  při teplotě  $\tau_2$

## 4. Závěr

Tato práce byla zaměřena na tlakové ventily přímo řízené a nepřímo řízené. Konkrétně měla poukázat na rozdíly a chování přímo a nepřímo řízených ventilů. Práce v úvodu obsahuje rešerši, která slouží jako základní seznámení s problematikou tlakových ventilů.

V praktické části byl navržen a realizován hydraulický obvod, ve kterém byl užit přímo i nepřímo řízený tlakový ventil, který byl měřen při různé zátěži a nastavení. Z dat byly vytvořeny statické a dynamické charakteristiky.

Statická charakteristika závislosti tlaku  $p$  před ventilem na průtoku  $Q$  ukázala, že největší rozdíl mezi přímo řízeným ventilem MO-4/10 a nepřímo řízeným ventilem RV10-26 byl ve velikosti nastavení minimálního tlaku. Nepřímo řízený ventil RV10-26 bylo možno nastavit na nižší hodnotu tlaku a zároveň oproti ventilu MO-4/10 měl při minimálním nastavení menší rozdíly v závislosti tlaku  $p$  na průtoku  $Q$ . Při vyšších hodnotách nastaveného tlaku byly rozdíly v naměřených hodnotách tlaku minimální.

Dynamická charakteristika zaměřující se na odezvu ventilů při různém tlakovém, teplotním a průtokovém nastavení ukázala, že rozdíl odezvy při rozeptnutí obvodu a začátkem reakce ventilu byl u obou měřených rozdílů zanedbatelný, zato čas pro ustálení tlaku v obvodu po tlakové špičce byl výrazně delší u nepřímo řízeného ventilu RV10-26. Bylo to pravděpodobně dáno tím, že nepřímo řízený ventil používá k regulaci velice slabou pružinu, proto byl méně zatlumený, a proto má ventil tak velký rozkmit. U obou ventilů se čas nutný pro dosažení tlakové špičky od rozeptnutí hydraulického obvodu se zvyšujícím průtokem zmenšuje. Při vyšší teplotě se rozdíly mezi tlakovými špičkami ventilů a času pro dosažení tlakové špičky zmenšují.

U grafů sledujících nárůst tlaku v čase byl poté nejpatrnější rozdíl v oblasti dosažení nastaveného průtoku, výši tlakové špičky a stabilizaci průtoku. U přímo řízeného ventilu MO-4/10 byla tlaková špička jen mírně vyšší než nastavená hodnota tlaku. Růst tlaku a stabilizace tlaku na požadovanou hodnotu byla pozvolná a plynulá. Oproti tomu nepřímo řízený ventil RV10-26 měl výraznou tlakovou špičku a tlak se stabilizoval na požadovanou hodnotu déle a s větším rozkmitem.

Tato práce by mohla být rozšířena měřením dalších typů ventilů, případně měřením s jinými provozními kapalinami.

## Seznam použité literatury a zdrojů

1. PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 2. Řídicí prvky hydrostatických systémů. Příslušenství hydraulických obvodů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, 2. vyd., 140 s. ISBN 978-80-248-1827-6.
2. PIVOŇKA, J. a kol. *Tekutinové mechanismy*. SNTL, Praha, 1987, 04-255-87, 623 s.
3. BAROŠKA, J. *Hydrostatické mechanismy*. Žilina: Hydropneutech s.r.o., 2012, 388 s. ISBN 978-80-970 897-2-6.
4. EXNER, H., FREITAG, R., et al. *Basic Principles and Components of Fluid Technology*. The Hydraulics Trainer, Volume 1, Mannesmann Rexroth GmbH, RE 00290/10.91, 2nd issue, 344 str., 1991. ISBN 3-8023-0266-4.
5. HAVELKA, M. *Principy a druhy hydrodynamických ventilů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 69s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. FRANTIŠEK POCHYLÝ, CSc. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=64531](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64531)
6. Katalogový list ventilu MO-4/10, ABCO. Dostupné z: <https://www.arolautomazione.it/wp-content/uploads/2017/03/Screw-In-2-way-78-Pressure-Relief-valves-MO-4-ref.-AC-440.pdf>
7. Katalogový list ventilu RV10-26, HydraForce. Dostupné z: <https://www.hydraforce.com/Pressure/Pre-pdf/6-150-1.pdf>
8. Engineering Essentials: Pressure-Control Valves, 2012. Hydraulics & pneumatice [online]. [cit. 2020-2-21]. Dostupné z: <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/hydraulic-valves/article/21884995/engineering-essentials-pressurecontrol-valves>
9. Understanding pressure-control valves, 2019. Hydraulics & pneumatice [online]. [cit. 2020-2-21]. Dostupné z: <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/hydraulic-valves/article/21887951/understanding-pressurecontrol-valves>



10. Engineering Technology Simulation Learning Videos. Pressure Relief Valves: Direct Acting and Pilot Operated. In: *Youtube* [online]. 05. 06. 2015 [cit. 2020-10-04]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=vfz\\_CM0ygs4](https://www.youtube.com/watch?v=vfz_CM0ygs4)

## Seznam obrázků

Obrázek 1.1 Tlumení kmitáním pomocí písku <sup>5</sup> .....	13
Obrázek 1.2 Značka přímo řízeného pojistného ventilu (vlevo) a přímo řízený pojistný ventil bez regulace tlaku (vpravo) <sup>6,8</sup> .....	13
Obrázek 1.3 Přímý řízený pojistný ventil s regulací tlaku <sup>8</sup> .....	14
Obrázek 1.4 Princip funkce jednostupňových ventilů <sup>5</sup> .....	14
Obrázek 1.5 Nepřímý řízený tlakový ventil <sup>8</sup> .....	16
Obrázek 1.6 Nepřímý řízený tlakový ventil s popisem a průtokem tekutiny <sup>10</sup> .....	16
Obrázek 2.1 Schéma hydraulického obvodu .....	18
Obrázek 2.2 Sestavený hydraulický obvod s popisem prvků .....	19
Obrázek 2.3 Sestavený hydraulický obvod s popisem prvků 2 .....	19
Obrázek 2.4 Měřicí přístroj MS 5060 Plus .....	20
Obrázek 2.5 Řez nepřímým řízeným ventilem RV10-26 (vlevo) a značka nepřímého řízeného ventilu RV10-26 (vpravo) <sup>6</sup> .....	20
Obrázek 2.6 Závislost tlakového spádu na průtoku ventilu MO-4/10 <sup>6</sup> .....	21
Obrázek 2.7 Rozměry ventilu MO-4/10 <sup>6</sup> .....	22
Obrázek 2.8 Řez nepřímým řízeným ventilem RV10-26 (vlevo) a značka nepřímého řízeného ventilu RV10-26 (vpravo) <sup>7</sup> .....	22
Obrázek 2.9 Závislost tlakového spádu na průtoku ventilu RV10-26 <sup>7</sup> .....	23
Obrázek 2.10 Rozměry ventilu RV10-26 <sup>7</sup> .....	23
Obrázek 3.1 Statická charakteristika závislosti tlaku $p$ před ventilem na průtoku $Q$ při teplotě $\tau_1 = 33,5\text{ °C}$ pro ventil MO-4/10 .....	25
Obrázek 3.2 Statická charakteristika závislosti tlaku $p$ před ventilem na průtoku $Q$ při teplotě $\tau_2 = 50,5\text{ °C}$ pro ventil MO-4/10 .....	25
Obrázek 3.3 Statická charakteristika závislosti tlaku $p$ před ventilem na průtoku $Q$ při teplotě $\tau_1 = 33,5\text{ °C}$ pro ventil RV10-26 .....	26
Obrázek 3.4 Statická charakteristika závislosti tlaku $p$ před ventilem na průtoku $Q$ při teplotě $\tau_2 = 50,5\text{ °C}$ pro ventil RV10-26 .....	26
Obrázek 3.5 Hydrowin – popis zpracování naměřených hodnot .....	27
Obrázek 3.6 Nárůst tlaku v čase ventilu MO-4/10 s $Q = 5\text{ dm}^3\text{ min}^{-1}$ při teplotě $\tau_1 = 33,5\text{ °C}$ .....	30
Obrázek 3.7 Nárůst tlaku v čase ventilu MO-4/10 s $Q = 10\text{ dm}^3\text{ min}^{-1}$ při teplotě $\tau_1 = 33,5\text{ °C}$ .....	30

Obrázek 3.8 Nárůst tlaku v čase ventil MO-4/10 s $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ při teplotě $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ .....	31
Obrázek 3.9 Porovnání průtoků při maximálním tlaku $p = 9 \text{ MPa}$ při teplotě $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ .....	31
Obrázek 3.10 Vliv teploty oleje na nárůst tlaku v čase ventilu MO-4/10 při průtoku $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ .....	32
Obrázek 3.11 Vliv teploty oleje na nárůst tlaku v čase ventilu MO-4/10 při průtoku $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ .....	32
Obrázek 3.12 Nárůst tlaku v čase ventil RV10-26 s průtokem $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ při teplotě $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ .....	33
Obrázek 3.13 Nárůst tlaku v čase ventil RV10-26 s průtokem $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ při teplotě $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ .....	34
Obrázek 3.14 Nárůst tlaku v čase ventil RV10-26 s průtokem $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ při teplotě $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ .....	34
Obrázek 3.15 Porovnání průtoků ventilu RV10-26 při maximálním tlaku $p = 9 \text{ MPa}$ při teplotě $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ .....	35
Obrázek 3.16 Vliv teploty oleje na nárůst tlaku v čase ventilu RV10-26 při průtoku $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ .....	35
Obrázek 3.17 Vliv teploty oleje na nárůst tlaku v čase ventilu RV10-26 při průtoku $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ .....	36
Obrázek 3.18 Nárůst tlaku v čase pro ventil MO-4/10 a RV10-26 s průtokem $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ při teplotě $\tau_1$ .....	37
Obrázek 3.19 Nárůst tlaku v čase pro ventil MO-4/10 a RV10-26 s průtokem $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ při teplotě $\tau_1$ .....	37
Obrázek 3.20 Nárůst tlaku v čase pro ventil MO-4/10 a RV10-26 s průtokem $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ při teplotě $\tau_2$ .....	38
Obrázek 3.21 Nárůst tlaku v čase pro ventil MO-4/10 a RV10-26 s průtokem $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ při teplotě $\tau_1$ .....	39
Obrázek 3.22 Nárůst tlaku v čase pro ventil MO-4/10 a RV10-26 s průtokem $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ při teplotě $\tau_2$ .....	39

## Seznam tabulek

Tabulka 1.1 Porovnání výhod ventilů .....	17
Tabulka 2.1 Popis názvosloví ventilu MO-4/10 <sup>6</sup> .....	21
Tabulka 2.2 Typy pružin, jejich nastavení a rozsah <sup>6</sup> .....	21
Tabulka 3.1 Porovnání odezvy ventilů MO-4/10 a RV10-26 při průtoku $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a teplotě $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ .....	28
Tabulka 3.2 Porovnání odezvy ventilů MO-4/10 a RV10-26 při průtoku $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a teplotě $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ .....	28
Tabulka 3.3 Porovnání odezvy ventilů MO-4/10 a RV10-26 při průtoku $Q = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a teplotě $\tau_1 = 33,5^\circ\text{C}$ .....	28
Tabulka 3.4 Porovnání odezvy ventilů MO-4/10 a RV10-26 při průtoku $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a teplotě $\tau_1 = 50,5^\circ\text{C}$ .....	28
Tabulka 3.5 Porovnání odezvy ventilů MO-4/10 a RV10-26 při průtoku $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a teplotě $\tau_1 = 50,5^\circ\text{C}$ .....	29